NACIONES UNIDAS

PNUMA

BC

UNEP/CHW.10/6/Add.2/Rev.1

CONVENIO DE BASILEA

Distr.: General
11 de noviembre de 2011

Español
Original: Inglés

Conferencia de las Partes en el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación
Décima reunión
Cartagena, Colombia, 17 a 21 de octubre de 2011
Tema 3 b) i) del programa provisional *

Cuestiones relacionadas con la aplicación del Convenio: Asuntos científicos y técnicos: directrices técnicas

Directrices técnicas

Nota de la Secretaría

Adición

Directrices técnicas para el manejo ambientalmente racional de desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contienen mercurio o están contaminados por este

En su décima reunión, la Conferencia de las Partes aprobó, en su forma enmendada, las directrices técnicas para el manejo ambientalmente racional de desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contienen mercurio o están contaminados por este sobre la base del proyecto que figuraba en el documento UNEP/CHW.10/6/Add.2, que fue preparado por un pequeño grupo de trabajo entre reuniones, encabezado por el Gobierno del Japón. El texto de la versión definitiva de las directrices técnicas se reproduce en el anexo del presente documento.

* UNEP/CHW.10/1.

Anexo

Directrices técnicas para el manejo ambientalmente racional de desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contienen mercurio o están contaminados por este

Versión definitiva revisada (31 de octubre de 2011)

Índice

I. Introducción 5
A. Ámbito 5
B. Acerca del mercurio 5

II. Disposiciones pertinentes del Convenio de Basilea y vínculos internacionales 6
A. Convenio de Basilea 6
1. Disposiciones generales 6
2. Disposiciones relacionadas con el mercurio 7
B. Vínculos internacionales 8
1. Consejo de Administración del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente 8
2. Convenio de Rotterdam 9
3. Protocolo relativo a los metales pesados 9
4. SAICM 9

III. Orientaciones sobre el manejo ambientalmente racional 9
A. Concepto general 9
1. Convenio de Basilea 10
2. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos 11
3. Manejo del mercurio basado en el ciclo de vida 11
B. Marco legislativo y reglamentario 12
1. Registro de generadores de desechos 13
2. Reducción y eliminación del mercurio en productos y procesos industriales 13
3. Requisitos aplicables a los movimientos transfronterizos 14
4. Autorización e inspección de las instalaciones para la eliminación 15
C. Identificación e inventario 15
1. Identificación 16
2. Inventarios 19
D. Muestreo, analisis y vigilancia 20
1. Muestreo 21
2. Análisis 22
3. Vigilancia 23
E. Prevención y reducción al mínimo de los desechos 24
1. Prevención y reducción al mínimo de los desechos de procesos industriales 24
2. Prevención y reducción al mínimo de los desechos de productos con mercurio añadido 26
3. Responsabilidad ampliada del productor 28
F. Manipulación, separación, recogida, empaque, etiquetado, transporte y almacenamiento 29
1. Manipulación 29
2. Separación 30
3. Recogida 32
4. Empaque y etiquetado 33
5. Transporte 33
6. Almacenamiento 34
G. Eliminación ambientalmente racional 36
1. Operaciones de recuperación 37
2. Operaciones no destinadas a la recuperación de mercurio elemental 42
H. Reducción de las liberaciones de mercurio mediante el tratamiento térmico y la eliminación de desechos 49
1. Reducción de las liberaciones de mercurio mediante el tratamiento térmico de los desechos 49
2. Reducción de las liberaciones de mercurio de los vertederos 51
I. Saneamiento de lugares contaminados 51
1. Detección de lugares contaminados y respuesta en casos de emergencia 52
2. Saneamiento ambientalmente racional 52
J. Salud y seguridad 53
K. Respuesta en casos de emergencia 54
1. Plan de respuesta en casos de emergencia 54
2. Consideración especial de los derrames de mercurio elemental 55
L. Concienciación y participación 56

Anexo
Bibliografía 59

Abreviaturas y siglas

AOX	hálidos orgánicos absorbibles
ASTM	American Society for Testing and Materials
CCME	Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente
CEN	Comité Europeo de Normalización
CEPE	Comisión de las Naciones Unidas para Europa
CETEM	Centro de Tecnología Mineral
CFL	lámparas fluorescentes compactas
Cl	Cloro
COP	contaminantes orgánicos persistentes
CH_3Hg^+ o $MeHg^+$	monometilmercurio, denominado comúnmente metilmercurio
EPA	Organismo de Protección Ambiental (de los EUA)
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
GMP	Proyecto Mundial del Mercurio
HCl	ácido clorhídrico
HF	ácido fluorhídrico
Hg	Mercurio
$HgCl_2$	dicloruro de mercurio
HgO	óxido de mercurio (II)
HgS	sulfuro mercúrico o cinabrio
$HgSO_4$	sulfato de mercurio
HNO_3	ácido nítrico
IATA	Asociación Internacional de Transporte Aéreo
IMERC	Interstate Mercury Education and Reduction Clearinghouse
ISO	Organización Internacional de Normalización
JIS	Normas industriales japonesas
JLT	ensayo normalizado de lixiviación del Japón
J-Moss	Indicación de la presencia de determinadas sustancias químicas en el equipo eléctrico y electrónico
LCD	visualizador de cristal líquido
NEWMOA	Asociación Nororiental de Encargados del Manejo de Desechos
NIMD	Instituto Nacional para la Enfermedad de Minamata
NOx	óxido de nitrógeno
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
OEWG	Grupo de Trabajo de composición abierta
OIEA	Organismo Internacional de Energía Atómica
OIT	Organización Internacional del Trabajo
OMI	Organización Marítima Internacional
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONG	organización no gubernamental
ONUDI	Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial
OSPAR	Convenio para la protección del medio marino del Atlántico Nordeste
PACE	Asociación para la acción en materia de equipos de computadoras
PBB	difenilos polibromados
PBDE	éteres de difenilo polibromado
PCB	bifenilo policlorado
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PVC	cloruro de polivinilo
SAICM	Enfoque estratégico para la gestión de los productos químicos a nivel internacional
SCB	Secretaría del Convenio de Basilea
SETAC	Sociedad de Toxicología y Química Ambientales
SO_2	dióxido de azufre
UE	Unión Europea

I. Introducción

A. Ámbito

1. En las presentes directrices se imparten orientaciones sobre el manejo ambientalmente racional de desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contienen mercurio o están contaminados por este, de conformidad con las decisiones VIII/33, IX/15 y BC-10/7 de la Conferencia de las Partes en el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación y la decisión VII/7 del Grupo de Trabajo de composición abierta del Convenio de Basilea.

2. En el párrafo 1 del artículo 2 ("Definiciones") del Convenio de Basilea, por desechos se entienden "las sustancias u objetos a cuya eliminación se procede, se propone proceder o se está obligado a proceder en virtud de lo dispuesto en la legislación nacional". Los desechos enumerados a continuación son objeto de las presentes directrices (para más ejemplos, véase el cuadro 2):

a) A: Desechos consistentes en mercurio elemental (por ejemplo, el mercurio elemental recuperado de desechos que contienen mercurio y están contaminados por este, el catalizador agotado y existencias sobrantes de mercurio elemental designadas como desecho);

b) B: Desechos que contienen mercurio (es decir, desechos de productos con mercurio añadido):

c) B1: Desechos de productos con mercurio añadido que liberen fácilmente el mercurio al medio ambiente cuando se rompen (por ejemplo, termómetros de mercurio desechado, lámparas fluorescentes);

d) B2: Desechos de productos con mercurio añadido distintos de los descritos en B-1 (por ejemplo, las pilas);

e) B3: Desechos estabilizados o solidificados que contienen mercurio resultante de la estabilización o solidificación de desechos consistentes en mercurio elemental;

f) C: Desechos contaminados por mercurio (es decir, residuos generados por procesos de extracción de minerales, procesos industriales o procesos de tratamiento de desechos).

3. Las presentes directrices se centran en los desechos consistentes en mercurio elemental y los desechos que contienen mercurio o están contaminados por éste y que están clasificados como desechos peligrosos.

B. Acerca del mercurio[1]

4. El mercurio es o ha sido ampliamente utilizado en productos como dispositivos médicos (termómetros, esfigmomanómetros), interruptores y relés, barómetros, lámparas fluorescentes, pilas y empastes dentales, así como en procesos industriales como plantas de cloro-álcalis, producción de monómeros de cloruro de vinilo, producción de acetaldehído y la fabricación de productos con mercurio añadido. El mercurio puede ser también un subproducto de procesos de refinación o producción de materias primas, como la extracción de metales no ferrosos y las operaciones con petróleo y gas. Se reconoce que el mercurio es un contaminante peligroso en todo el mundo. Las emisiones y liberaciones de mercurio pueden ser causadas por la actividad humana (antropógena) y

1 Se pueden consultar varias fuentes de que se dispone para obtener más información sobre el mercurio y sus propiedades químicas, fuentes, comportamiento en el medio ambiente, riesgos para la salud humana y contaminación (remítase a la bibliografía que se indica a continuación)

- Sobre las propiedades químicas: Japan Public Health Association 2001, Steffen 2007, OMS 2003, Spiegel 2006, OTI 2000 y 2001, Oliveira 1998, Tajima 1970;
- Sobre fuentes de emisiones antropógenas: PNUMA 2008a, The Zero Mercury Working Group 2009;
- Sobre comportamiento en el medio ambiente: Japan Public Health Association 2001, Wood 1974;
- Sobre riesgos para la salud humana: Ozonoff 2006, Sanbom 2006, Sakamoto 2005, OMS 1990, Kanai 2003, Kerper 1992, Mottet 1985; Sakamoto 2004, Oikawa 1983, Richardson 2003, Richardson y Allan 1996, Gay 1979, Boom 2003, Hylander 2005, Bull 2006, OMS 1972, 1990, 1991, 2003, Japan Public Health Association 2001, Canadian Centre for Occupational Health and Safety 1998, Asano 2000; PNUMA y OMS 2008;
- Sobre la contaminación por mercurio: Ministerio del Medio Ambiente del Japón 1997, 2002, Amin-Zaki 1978, Bakir 1973, Damluji 1972, PNUMA 2002, Lambrecht 1989, Departamento de Asuntos Ambientales y Turismo 1997, 2007, GroundWork 2005; Escuela de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Universidad de Michigan 2000, Butler 1997.

también pueden originarse en fuentes naturales. Tan pronto el mercurio es liberado al medio ambiente, persiste en la atmósfera (vapor de mercurio), el suelo (mercurio iónico) y la fase acuática (metilmercurio (MeHg, or CH_3Hg^+)). Parte del mercurio que se encuentra en el medio ambiente va a parar a la cadena alimentaria debido a la bioacumulación y la biomagnificación y, a la larga, es ingerido por los seres humanos.

5. La manipulación, recogida, transporte o eliminación indebidos de los desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contienen mercurio o están contaminados por este pueden dar lugar a liberaciones de mercurio, como es el caso de algunas tecnologías de eliminación.

6. El caso de Minamata (Japón), en el que se descargaron aguas residuales que contenían mercurio en la Bahía de Minamata (Ministerio del Medio Ambiente, Japón 2002), el vertido ilícito de desechos contaminados por mercurio en Camboya en 1998 (Honda y otros, 2006; NIMD 1999), y el caso de Thor Chemicals en Sudáfrica (Lambrecht 1989) son solo algunos ejemplos de situaciones en las que no se han manejado de manera ambientalmente racional desechos que contienen mercurio o están contaminados por este.

7. Aunque la intención de las disposiciones del futuro instrumento jurídicamente vinculante a nivel mundial sobre el mercurio es reducir la oferta y la demanda de mercurio, la tendencia creciente a nivel mundial hacia la eliminación de los productos y procesos con mercurio añadido que utilizan mercurio terminará muy pronto por generar mercurio sobrante, si la oferta de mercurio se mantiene como hasta ahora. Además, se espera que en los próximos años se registre un aumento del uso de algunos productos con mercurio añadido como son las lámparas fluorescentes, que se están utilizando en sustitución de las incandescentes como parte de la estrategia de una sociedad con bajas emisiones de carbono, y en las utilizadas para la retroiluminación de los visualizadores de cristal líquido (LCD). Asegurarse del manejo ambientalmente racional de los desechos consistentes en mercurio elemental y los desechos que contienen mercurio en particular, será una cuestión crucial para muchos países.

II. Disposiciones pertinentes del Convenio de Basilea y vínculos internacionales

A. Convenio de Basilea

1. Disposiciones generales

8. La finalidad del Convenio de Basilea es proteger la salud humana y el medio ambiente de los efectos adversos resultantes de la generación, el manejo, los movimientos transfronterizos y la eliminación de desechos peligrosos y otros desechos.

9. En el párrafo 4 del artículo 2, el Convenio estipula que se entiende por eliminación "cualquiera de las operaciones especificadas en el Anexo IV" del Convenio, lo que incluye operaciones que posibiliten la recuperación, el reciclado, la regeneración, la reutilización directa (operaciones R) o los usos alternativos de los recursos y las que no ofrezcan esa posibilidad (operaciones D).

10. En el párrafo 1 del artículo 4 ("Obligaciones generales") se establece el procedimiento, según el cual las partes que ejerzan su derecho a prohibir la importación de desechos peligrosos u otros desechos para su eliminación, comunicarán a las demás partes su decisión. En el apartado a) del párrafo 1 se estipula lo siguiente: "Las partes que ejerzan su derecho a prohibir la importación de desechos peligrosos y otros desechos para su eliminación, comunicarán a las demás partes su decisión de conformidad con el artículo 13". En el apartado b) del párrafo 1 se dispone que: "Las partes prohibirán o no permitirán la exportación de desechos peligrosos y otros desechos a las partes que hayan prohibido la importación de esos desechos, cuando dicha prohibición se les haya comunicado de conformidad con el apartado a)"

11. En los apartados a) a e) y g) del párrafo 2 del artículo 4 figuran disposiciones clave relativas al manejo ambientalmente racional, la reducción al mínimo de los desechos, la reducción del movimiento transfronterizo y las prácticas de eliminación de desechos que mitigan los efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente:

> "Cada Parte adoptará las medidas apropiadas para:
>
> a) Reducir al mínimo la generación de desechos peligrosos y otros desechos en ella, teniendo en cuenta los aspectos sociales, tecnológicos y económicos;
>
> b) Establecer instalaciones adecuadas de eliminación para el manejo ambientalmente racional de los desechos peligrosos y otros desechos, cualquiera que sea el lugar donde se efectúa su eliminación que, en la medida de lo posible, estará situado dentro de ella;

c) Velar por que las personas que participen en el manejo de los desechos peligrosos y otros desechos dentro de ella adopten las medidas necesarias para impedir que ese manejo dé lugar a una contaminación y, en caso de que se produzca ésta, para reducir al mínimo sus consecuencias sobre la salud humana y el medio ambiente;

d) Velar por que el movimiento transfronterizo de los desechos peligrosos y otros desechos se reduzca al mínimo compatible con un manejo ambientalmente racional y eficiente de esos desechos, y que se lleve a cabo de forma que se protejan la salud humana y el medio ambiente de los efectos nocivos que puedan derivarse de ese movimiento;

e) No permitir la exportación de desechos peligrosos y otros desechos a un Estado o grupo de Estados pertenecientes a una organización de integración económica y/o política que sean Partes, particularmente a países en desarrollo, que hayan prohibido en su legislación todas las importaciones, o si tiene razones para creer que tales desechos no serán sometidos a un manejo ambientalmente racional, de conformidad con los criterios que adopten las Partes en su primera reunión;

g) Impedir la importación de desechos peligrosos y otros desechos si tiene razones para creer que tales desechos no serán sometidos a un manejo ambientalmente racional."

2. Disposiciones relacionadas con el mercurio

12. El artículo 1 ("Alcance del Convenio") determina los tipos de desechos que son objeto del Convenio. En el apartado a) se establece un proceso en dos etapas para determinar si un "desecho" es "desecho peligroso" a los efectos del Convenio: primeramente, el desecho debe pertenecer a una de las categorías incluidas en el anexo I del Convenio ("Categorías de desechos que hay que controlar"); y, en segundo lugar, debe poseer por lo menos una de las características incluidas en el anexo III del Convenio ("Lista de características peligrosas").

13. Se presume que los desechos incluidos en el anexo I muestran una o varias de las características peligrosas del anexo III. Esas características pueden ser H6.1 "Tóxicos (venenos) agudos", H11 "Sustancias tóxicas (con efectos retardados o crónicos)" y H12 "Ecotóxicos", a menos que se pueda demostrar, por medio de ensayos nacionales, que no muestran esas características. Las pruebas nacionales pueden ser útiles para determinar una característica peligrosa específica incluida en el anexo III hasta el momento en que quede plenamente definida la característica peligrosa. En el marco del Convenio se han redactado documentos de orientación en relación con algunas características peligrosas incluidas en el anexo III.

14. En la lista A del anexo VIII del Convenio se describen los desechos que están "caracterizados como peligrosos de conformidad con el apartado a) del párrafo 1 del presente Convenio" aunque "su inclusión en el anexo VIII no obsta para que se use el anexo III (características peligrosas) para demostrar que un desecho no es peligroso" (anexo I, párrafo b)). En la lista B del anexo IX se incluyen los desechos que "que no estarán sujetos a lo dispuesto en el apartado a) del párrafo 1 del artículo 1 del Convenio de Basilea, a menos que contengan materiales incluidos en el anexo I en una cantidad tal que les confiera una de las características del anexo III".

15. Como se estipula en el apartado b) del párrafo 1 del artículo 1, también son objeto del Convenio "los desechos no incluidos en el apartado a), pero definidos o considerados peligrosos por la legislación interna de la Parte que sea Estado de exportación, de importación o de tránsito".

16. En el cuadro – 1 se indican los desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contienen mercurio o están contaminados por este, incluidos en los anexos I y VIII del Convenio de Basilea.

Cuadro -1 Desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contienen mercurio o están contaminados por este, incluidos en los anexos I y VIII del Convenio de Basilea

Entradas que hacen referencia directa al mercurio	
Y29	Desechos que tengan como constituyentes: ***mercurio***; ***compuestos de mercurio***
A1010	Desechos metálicos y desechos que contengan aleaciones de cualquiera de las sustancias siguientes: … - ***Mercurio*** … pero excluidos los desechos que figuran específicamente en la lista B.

A1030	Desechos que tengan como constituyentes o contaminantes cualquiera de las sustancias siguientes: … - ***Mercurio; compuestos de mercurio*** …
A1180	Montajes eléctricos y electrónicos de desecho o restos de éstos[2] que contengan componentes como acumuladores y otras baterías incluidos en la lista A, ***interruptores de mercurio***, vidrios de tubos de rayos catódicos y otros vidrios activados y capacitadores de PCB, o contaminados por constituyentes del anexo I (por ejemplo, cadmio, mercurio, plomo, bifenilo policlorado) en tal grado que posean alguna de las características del anexo III (véase la entrada correspondiente en la lista B B1110)[3]
Otras entradas relacionadas con desechos que pueden contener mercurio o estar contaminados por este	
A1170	Acumuladores de desecho sin seleccionar excluidas mezclas de acumuladores sólo de la lista B. Los acumuladores de desecho no incluidos en la lista B que contengan constituyentes del anexo I en tal grado que los conviertan en peligrosos
A2030	Desechos de catalizadores, pero excluidos los desechos de este tipo especificados en la lista B
A2060	Cenizas volantes de centrales eléctricas de carbón que contengan sustancias del anexo I en concentraciones tales que presenten características del anexo III (véase la entrada correspondiente en la lista B B2050)
A3170	Desechos resultantes de la producción de hidrocarburos halogenados alifáticos (tales como clorometano, dicloroetano, cloruro de vinilo, cloruro de alilo y epicloridrina)
A4010	Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de productos farmacéuticos, pero con exclusión de los desechos especificados en la lista B
A4020	Desechos clínicos y afines; es decir desechos resultantes de prácticas médicas, de enfermería, dentales, veterinarias o actividades similares, y desechos generados en hospitales u otras instalaciones durante actividades de investigación o el tratamiento de pacientes, o de proyectos de investigación
A4030	Desechos resultantes de la producción, la preparación y la utilización de biocidas y productos fitofarmacéuticos, con inclusión de desechos de plaguicidas y herbicidas que no respondan a las especificaciones, caducados, o no aptos para el uso previsto originalmente
A4080	Desechos de carácter explosivo (pero con exclusión de los desechos especificados en la lista B)
A4160	Carbono activado consumido no incluido en la lista B (véase el correspondiente apartado de la lista B B2060)

B. Vínculos internacionales

1. Consejo de Administración del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

17. En su decisión 25/5 III, el Consejo de Administración del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) estableció un comité internacional de negociación encargado de preparar un instrumento jurídicamente vinculante a nivel mundial sobre el mercurio. El comité comenzó sus trabajos en junio de 2010 y deberá completarlos a principios de 2013. El mandato del instrumento es, entre otras cosas:

a) Reducir la oferta de mercurio y aumentar la capacidad para su almacenamiento ambientalmente racional;

b) Reducir la demanda de mercurio en productos y procesos;

c) Reducir el comercio internacional de mercurio;

d) Reducir las emisiones de mercurio a la atmósfera;

e) Procurar soluciones para los desechos que contienen mercurio y el saneamiento de los lugares contaminados; y

f) Especificar los arreglos para la creación de capacidad y la prestación de asistencia técnica.

2 En esta entrada no se incluyen los restos de instalaciones para la generación de energía eléctrica.

3 Los PCB tienen un nivel de concentración de 50 mg/kg ó más.

18. En esa misma decisión, se le pidió al Director Ejecutivo del PNUMA que, en coordinación con los gobiernos, las organizaciones intergubernamentales, los interesados directos y la Asociación Mundial sobre el Mercurio, según proceda, continuase y fortaleciese la labor en marcha en esas esferas. La Subdivisión de Productos Químicos de la División de Tecnología, Industria y Economía del PNUMA presta los servicios de secretaría para las negociaciones sobre el mercurio y la Asociación Mundial sobre el Mercurio ha seleccionado ya siete actividades prioritarias (o esferas de interés de la asociación)[4].

2. Convenio de Rotterdam

19. En el anexo III del Convenio de Rotterdam sobre el procedimiento de consentimiento fundamentado previo aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional se incluyen los "compuestos de mercurio, que incluyen compuestos de mercurio inorgánicos, compuestos de alquilmercurio y compuestos de alquiloxilalquilo y arilmercurio". En el anexo III figura una lista de productos químicos sujetos al procedimiento de consentimiento fundamentado previo, junto con los documentos de orientación para la adopción de decisiones pertinentes y toda información adicional. El anexo III incluye productos químicos que han sido prohibidos o rigurosamente restringidos por motivos ambientales o de salud.

3. Protocolo relativo a los metales pesados

20. El objetivo del Protocolo relativo a los metales pesados de la Convención de 1979 sobre la contaminación atmosférica transfronteriza a larga distancia es controlar las emisiones antropógenas de metales pesados, incluido el mercurio, que son objeto de transporte transfronterizo a larga distancia en la atmósfera y probablemente tengan importantes efectos adversos en la salud humana o el medio ambiente. Las partes están en la obligación de reducir las emisiones de determinados metales pesados por debajo de sus niveles de 1990 (o en otros años del período entre 1985 y 1995) aplicando las mejores técnicas disponibles en las nuevas fuentes estacionarias, imponiendo valores límite a las emisiones de determinadas fuentes estacionarias y aplicando las mejores técnicas disponibles y valores límite a determinadas fuentes existentes. Las partes también tienen que establecer y mantener inventarios de las emisiones de los metales pesados incluidos. En el anexo VII del Protocolo figura una lista en la que se especifican los componentes eléctricos que contienen mercurio y baterías que contienen mercurio para la aplicación de medidas recomendadas de manejo de los productos, lo que incluye la sustitución, la reducción al mínimo, el etiquetado, incentivos económicos, acuerdos voluntarios y programas de reciclado.

4. SAICM

21. El Enfoque estratégico para la gestión de los productos químicos a nivel internacional (SAICM) consta de tres textos fundamentales: la Declaración de Dubai; una estrategia de política global; y un plan de acción mundial. El mercurio se aborda específicamente en el Plan de Acción Mundial en la esfera de trabajo 14: "el mercurio y otros productos químicos que suscitan preocupación a nivel mundial; los productos químicos producidos o utilizados en gran volumen; los sujetos a usos muy dispersivos; y otros productos químicos que causan preocupación a nivel nacional", con actividades específicas que abordan la reducción de riesgos, la necesidad de seguir adoptando medidas y el examen de la información científica. Se creó un programa de inicio rápido para la consecución de los objetivos del SAICM a fin de apoyar las actividades iniciales que propicien la creación de capacidad y la aplicación en los países en desarrollo, los países menos adelantados, los pequeños Estados insulares en desarrollo y los países con economías en transición (PNUMA 2006a).

III. Orientaciones sobre el manejo ambientalmente racional

A. Concepto general

22. El manejo ambientalmente racional es un concepto normativo general. Las disposiciones relativas al manejo ambientalmente racional en lo que atañe a los desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contienen mercurio o están contaminados por este (y, en sentido más general, a los desechos peligrosos) establecidas en el Convenio de Basilea y los elementos básicos de funcionamiento de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) constituyen la orientación internacional que apoya los esfuerzos de manejo ambientalmente racional en marcha en diversos países y en algunos sectores industriales. Cabe destacar que continúan los esfuerzos internacionales bajo los auspicios de, entre otros, la Asociación Mundial del Mercurio patrocinada por el PNUMA y el proceso del comité intergubernamental de negociación. Entre tanto,

4 Si necesita más información, consulte http://www.unep.org/hazardoussubstances/Mercury/GlobalMercuryPartnership/tabid/1253/Default.aspx.

es importante utilizar estas directrices para promover e implementar el manejo ambientalmente racional de esos desechos.

1. Convenio de Basilea

23. En el párrafo 8 de su artículo 2, el Convenio de Basilea dispone que se entenderá por manejo ambientalmente racional de los desechos peligrosos y otros desechos la adopción de todas las medidas posibles para garantizar que los desechos peligrosos y otros desechos se manejen de manera que queden protegidos el medio ambiente y la salud humana contra los efectos nocivos que pueden derivarse de tales desechos.

24. En el apartado b) del párrafo 2 del artículo 4, el Convenio establece que cada parte adopte las medidas pertinentes para "asegurar que se establezcan instalaciones adecuadas de eliminación para el manejo ambientalmente racional de los desechos peligrosos y otros desechos, que, en la medida de lo posible, estarán situadas en su territorio, cualquiera que sea el lugar donde se efectúe su eliminación", mientras que en el apartado c) del párrafo 2 se dispone que cada parte "vele por que las personas que participen en el manejo de los desechos peligrosos y otros desechos en su territorio adopten las medidas que sean necesarias para impedir que ese manejo dé lugar a una contaminación causada por esos desechos y, en caso de que se produzca, para reducir al mínimo sus consecuencias para la salud humana y el medio ambiente".

25. En el párrafo 8 del artículo 4, el Convenio exige que "los desechos peligrosos y otros desechos, que se vayan a exportar, sean manejados de manera ambientalmente racional en el Estado de importación y en los demás lugares. En su primera reunión las Partes adoptarán directrices técnicas para el manejo ambientalmente racional de los desechos sometidos a este Convenio". Las presentes directrices tienen como finalidad elaborar una definición más precisa de manejo ambientalmente racional en el contexto de los desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contienen mercurio o están contaminados por este, incluidos el tratamiento y los métodos de eliminación apropiados de estas corrientes de desechos.

26. En el documento de orientación de 1994 sobre la preparación de las directrices técnicas para el manejo ambientalmente racional de los desechos objeto del Convenio de Basilea (SBC 1994) se formulan algunos principios fundamentales para el manejo ambientalmente racional de los desechos y se recomiendan condiciones jurídicas, institucionales y técnicas (criterios para el manejo ambientalmente racional) como:

a) Una infraestructura de reglamentación y aplicación obligatoria asegure el cumplimiento de las normas correspondientes;

b) Los emplazamientos o las instalaciones cuenten con una autorización y aplican la norma adecuada de tecnología y control de la contaminación para manipular los desechos peligrosos en la forma prevista, en particular teniendo en cuenta el nivel tecnológico y de control de la contaminación en el país exportador;

c) Los operadores de los emplazamientos o las instalaciones en las que se manejan desechos peligrosos, según proceda, vigilen los efectos de esas actividades;

d) Se adopten las medidas apropiadas en casos en que la vigilancia indica que debido al manejo de desechos peligrosos se han producido descargas inadmisibles; y

e) Las personas encargadas del manejo de los desechos peligrosos estén capacitadas para ello y hayan recibido la debida formación para hacerlo.

27. El manejo ambientalmente racional es también el tema de la Declaración de Basilea de 1999 sobre el manejo ambientalmente racional, que estipula que en este contexto se deben llevar a cabo numerosas actividades, como:

a) La prevención, la reducción al mínimo, el reciclado y la eliminación de los desechos peligrosos y otros desechos sujetos al Convenio de Basilea, teniendo en cuenta los aspectos sociales, tecnológicos y económicos;

b) La promoción y la utilización activas de producción y tecnologías menos contaminantes para prevenir y reducir al mínimo los desechos peligrosos y otros desechos sujetos al Convenio de Basilea;

c) La disminución en aún mayor medida de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y otros desechos sujetos al Convenio de Basilea, teniendo en cuenta la necesidad de una gestión eficiente, los principios de la autonomía y la proximidad y los requisitos prioritarios del reciclado y la recuperación;

d) La prevención y la vigilancia del tráfico ilícito;

e) La mejora y la promoción de la creación de la capacidad institucional, y técnica, así como el desarrollo y la transferencia de tecnologías ambientalmente racionales, especialmente en el caso de los países en desarrollo y los países con economías en transición;

f) El mejoramiento de los centros regionales y subregionales de capacitación y transferencia de tecnología;

g) El mejoramiento del intercambio de información, la educación y la concienciación en todos los sectores de la sociedad;

h) La cooperación y las modalidades de asociación a todos los niveles entre los países, las autoridades públicas, las organizaciones internacionales, el sector de la industria, las organizaciones no gubernamentales y las instituciones académicas; y

i) La creación de mecanismos para el cumplimiento, la vigilancia y la aplicación efectiva del Convenio y sus enmiendas.

28. Se han formulado recomendaciones basadas en los criterios de manejo ambientalmente racional para las computadoras conforme al mandato de la Asociación para la acción en materia de equipos de computadoras (PACE) del Convenio de Basilea.

2. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos

29. La OCDE aprobó una recomendación sobre el manejo ambientalmente racional de los desechos que abarca aspectos como los elementos básicos de funcionamiento de las directrices sobre el manejo ambientalmente racional aplicables a las instalaciones de recuperación de desechos, que incluyen: elementos de funcionamiento que preceden a la recogida, el transporte, el tratamiento y el almacenamiento; y elementos posteriores al almacenamiento, transporte, tratamiento y eliminación de los residuos pertinentes (OCDE 2004). Los elementos básicos de funcionamiento son que:

a) La instalación cuente con un sistema de manejo ambiental aplicable;

b) La instalación adopte medidas suficientes que permitan salvaguardar la salud y la seguridad ocupacional y ambiental;

c) La instalación tenga un programa adecuado de vigilancia, registro y presentación de informes;

d) La instalación disponga de un programa acertado y adecuado de formación del personal;

e) La instalación tenga plan adecuado para situaciones de emergencia;

f) La instalación tenga un plan adecuado para el cierre y las actividades posteriores al cierre.

30. El manual de orientación para la aplicación de la recomendación de la OCDE sobre el manejo ambientalmente racional de los desechos (OCDE 2007) contiene más información al respecto.

3. Manejo del mercurio basado en el ciclo de vida

31. El concepto de manejo basado en el ciclo de vida ofrece una perspectiva importante del manejo ambientalmente racional de desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contienen mercurio o están contaminados por este. El manejo basado en el ciclo de vida constituye un marco para analizar y gestionar la calidad de los bienes y servicios en cuanto a su sostenibilidad. Las empresas de todo el mundo lo están utilizando para reducir, por ejemplo, las huellas de sus productos en el carbono, los materiales y el agua y mejorar los resultados sociales y económicos de sus ofertas para asegurar una cadena de valor más sostenible (PNUMA y SETAC 2009). Cuando se aplica el manejo basado en el ciclo de vida al mercurio, los resultados deben analizarse en las etapas siguientes: producción de productos con mercurio añadido o producción de otros productos que usan mercurio; uso de los productos; recogida y transporte de los desechos; y eliminación de los desechos.

32. En el manejo del mercurio basado en el ciclo de vida, es importante que se establezca como prioridad la reducción del mercurio usado en productos y procesos para reducir el contenido de mercurio en los desechos que se van a eliminar y en los desechos generados en los procesos industriales. Cuando se utilicen productos con mercurio añadido, se deberá poner especial cuidado en prevenir la liberación de mercurio al medio ambiente. Los desechos consistentes en mercurio elemental o los desechos que contienen mercurio o están contaminados por este deberán tratarse a fin de recuperar el mercurio o de inmovilizarlo de manera ambientalmente racional. El mercurio recuperado deberá eliminarse después de su estabilización/solidificación en un lugar de

almacenamiento permanente o un vertedero diseñado especialmente; o bien, se podría utilizar como insumo de productos para los cuales no existen o no se dispone de alternativas que no utilicen mercurio o cuando tenga que pasar un largo tiempo antes de que haya sustitutos para los productos con mercurio añadido; esto podría ayudar a reducir la cantidad de mercurio liberado de la tierra. Los desechos consistentes en mercurio elemental o los desechos que contienen mercurio o estén contaminados por este se podrán almacenar, por ejemplo, para su tratamiento ulterior hasta que se disponga de instalaciones o para su exportación a otros países con fines de eliminación (véase la Figura-1).

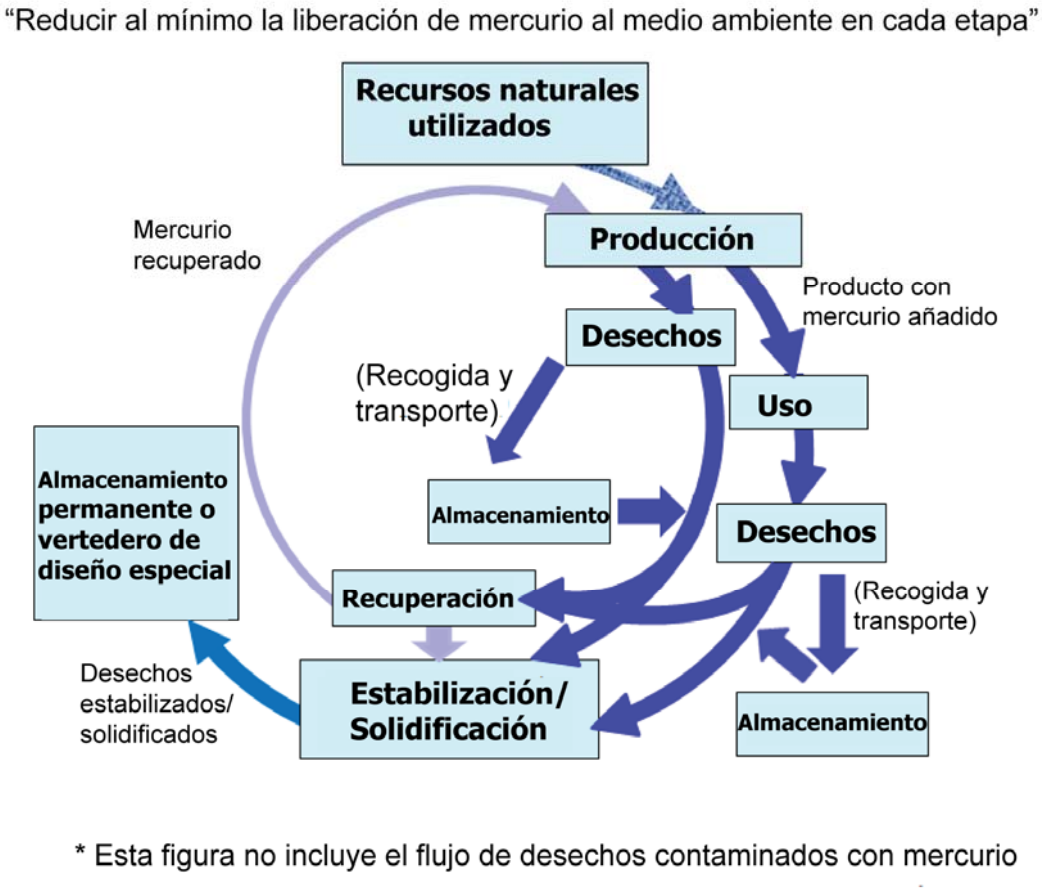

Figura-1 Concepto básico del manejo del mercurio

33. El manejo de los desechos abarca la separación por fuentes, la recogida, el transporte, el almacenamiento y la eliminación (es decir, recuperación, solidificación, estabilización y almacenamiento permanente). Cuando un gobierno proyecta recoger desechos consistentes en mercurio elemental o desechos que contienen mercurio o están contaminados por este, también tiene que planificar el siguiente paso en el manejo de los desechos, a saber, el almacenamiento y la eliminación.

B. Marco legislativo y reglamentario

34. Las partes en el Convenio de Basilea deberán examinar sus controles, normas y procedimientos nacionales para asegurarse de que aplican en todas sus partes las obligaciones contraídas en virtud del Convenio, incluidas las relacionadas con el movimiento transfronterizo y el manejo ambientalmente racional de los desechos consistentes en mercurio elemental y los desechos que contienen mercurio o están contaminados por este.

35. La aplicación de la legislación deberá investir a los gobiernos de autoridad para promulgar, inspeccionar y hacer cumplir normas y reglamentos específicos, y establecer sanciones por las violaciones. En esa legislación sobre desechos peligrosos se deberá establecer también una definición de desechos peligrosos. Los desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contienen mercurio o están contaminados por este deberán incluirse en la definición. La legislación podría incluir una definición de manejo ambientalmente racional y exigir la adhesión a los principios de ese manejo, lo que aseguraría que los países cumpliesen las disposiciones sobre manejo ambientalmente racional de los desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contienen mercurio o están contaminados por este. Los componentes y las características específicos de un marco

reglamentario que cumpla los requisitos del Convenio de Basilea y de los demás acuerdos internacionales se examinan a continuación[5].

1. Registro de los generadores de desechos

36. Uno de los métodos para lograr el control total de los desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contienen mercurio o están contaminados por este es establecer un marco reglamentario para el registro de los generadores de este tipo de desechos. El registro deberá incluir generadores en gran escala como las plantas eléctricas, las instalaciones industriales (por ejemplo, plantas de cloroálcalis que utilizan la tecnología de la pila de mercurio, instalaciones de producción de monómeros de cloruro de vinilo, que utilizan mercurio como catalizador, u operaciones de fundición), hospitales, dispensarios médicos, dentistas y gabinetes dentales, institutos de investigación, recolectores de desechos de mercurio, etc. Un registro de estos generadores de desechos posibilitaría aclarar los orígenes de los desechos, su tipo y volumen (o la cantidad de productos con mercurio añadido usados).

37. La información que proporcionarán los generadores de este tipo de desechos consistiría en el nombre, la dirección, la persona a cargo, el tipo de empresa, la cantidad de desechos generados, el tipo de desechos, el plan de recogida y la manera en que los desechos son entregados a los recolectores o son eliminados. Los generadores de desechos deberán transmitir y actualizar esta información al sector público (gobierno central o local) periódicamente. Además, se crearán programas de inventarios de desechos basados en la cantidad y el tipo de desechos notificados.

38. Esos generadores de desechos tendrán el deber de evitar que el mercurio pase al medio ambiente mientras no haya sido entregado a los recolectores o enviado a una instalación de eliminación. Deberán cumplir estrictamente los marcos jurídicos nacionales o locales para el manejo de esos desechos y tendrán la responsabilidad de reparar o indemnizar por los daños a la salud o el medio ambiente que puedan producirse.

2. Reducción y eliminación del mercurio en productos y procesos industriales

39. La reducción y eliminación del mercurio en productos y procesos industriales es una de las maneras más eficaces de reducir las liberaciones de mercurio al medio ambiente.

40. Las partes deberán establecer y hacer cumplir un marco legislativo o reglamentario para el programa de eliminación. Un marco reglamentario eficaz apoya la organización apropiada de las obligaciones implícitas en la responsabilidad ampliada de los productores (como se examina en el capítulo III, E, 3), que dependen de la responsabilidad compartida entre los interesados directos. Un procedimiento para asegurar el marco legislativo o reglamentario del programa de eliminación consiste en establecer una fecha límite para la prohibición del uso del mercurio en productos y procesos (con excepción de los que no son alternativas o exenciones técnica o prácticamente viables). Después de esa fecha, se deberá prohibir el uso del mercurio y se deberán establecer planes de recogida y tratamiento para el manejo ambientalmente racional, basados en la responsabilidad ampliada de los productores, en cooperación con todos los interesados directos. Este proceder alienta a los usuarios en gran escala y a los productores de mercurio y productos que contienen mercurio a cumplir el requisito de emprender un programa de eliminación del mercurio. En determinados casos, tal vez sea útil complementar dicho programa con la prohibición de la exportación de desechos.

41. Un ejemplo de marco para la producción encaminada a la eliminación gradual es la Directiva 2002/95/EC del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de enero de 2003 sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos, conocida también como "Directiva RoHS", por la que se restringe la utilización de, entre otras cosas, el mercurio en el equipo eléctrico y electrónico. Se permiten exenciones temporales para el uso de esas sustancias en diversos productos para los cuales no existen aún alternativas viables (por ejemplo, algunos tipos de lámparas que contienen mercurio). Por esa razón, gran parte del equipo eléctrico y electrónico que contiene mercurio ha sido eliminado del mercado de la Unión Europea desde que la Directiva entró en vigor el 1 de julio de 2006.

42. Otro ejemplo de la Unión Europea es la Directiva 2006/66/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 6 de septiembre de 2006 relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores y por la que se deroga la Directiva 91/157/CEE, en la que se prohíbe poner en el

5 Los siguientes documentos contienen orientaciones adicionales sobre los marcos reglamentarios del Convenio de Basilea: Modelo de legislación nacional sobre el manejo de desechos peligrosos y otros desechos, así como sobre el control de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y otros desechos y su eliminación (PNUMA 1995), Convenio de Basilea: Manual de aplicación del Convenio de Basilea (SCB 1995a) y Convenio de Basilea: Guía para el sistema de control (SCB 1998).

mercado todas las pilas y acumuladores, hayan sido incorporados o no en aparatos, que contengan más de 0,0005% de mercurio en peso, con sujeción a las exenciones (esta prohibición no se aplicará a las pilas de botón con un contenido de mercurio no superior al 2% por el peso).

43. Noruega ha impuesto una prohibición general al uso del mercurio en productos para asegurarse de que el mercurio no sea utilizado en productos para los que existen alternativas[6]. Se prohíbe fabricar, importar, exportar, vender o utilizar sustancias o preparados que contengan mercurio o compuestos de mercurio, y fabricar, importar, exportar o vender productos sólidos procesados con mercurio o compuestos de mercurio añadidos. De esta manera se reducirá el número de productos que contienen mercurio en el mercado, además de las descargas de productos que no han sido eliminados como desechos peligrosos involuntariamente.

3. Requisitos aplicables a los movimientos transfronterizos

44. Según el Convenio de Basilea, los desechos consistentes en mercurio elemental y los desechos con contienen mercurio o están contaminados por este son desechos peligrosos.

45. Si una parte en el Convenio cuenta con una legislación nacional por la que se prohíba la importación de desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contienen o estén contaminados por mercurio, y ha comunicado la información de conformidad con el apartado a) del párrafo 1 del artículo 4, las demás partes no pueden exportar esos desechos a esa parte.

46. Los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y otros desechos deben mantenerse en un mínimo que esté acorde con su manejo ambientalmente racional y llevarse a cabo de manera que proteja la salud humana y el medio ambiente de cualquier efecto adverso que puedan causar esos movimientos. Los movimientos transfronterizos de esos desechos se permitirán solo cuando:

a) Se realicen en condiciones que no pongan en peligro la salud humana y el medio ambiente;

b) Las exportaciones se gestionen de manera ambientalmente racional en el país de importación u otro país;

c) El país de exportación no cuente con la capacidad técnica ni las instalaciones necesarias para la eliminación de los desechos de que se trate de una manera ambientalmente racional y con eficacia;

d) Los desechos de que se trate se necesiten como materia prima para las industrias de reciclado o recuperación en el país de importación; o

e) Esos movimientos transfronterizos cumplan los demás criterios que hayan decidido las partes.

47. Todo movimiento transfronterizo de desechos peligrosos y otros desechos deberá notificarse por escrito a las autoridades competentes de todos los países interesados en el movimiento (país de exportación, país de importación y, si procede, país de tránsito). Esta notificación incluirá las declaraciones y la información solicitada en el Convenio y se redactará en un lenguaje aceptable por el Estado de importación. Antes de que tenga lugar cualquier movimiento transfronterizo de desechos peligrosos y otros desechos es menester el consentimiento previo por escrito del país de importación y el de exportación y, si procede, del país de tránsito, además de la confirmación de la existencia de un contrato en el que se especifique el manejo ambientalmente racional de los desechos entre el exportador y el dueño de la instalación de eliminación. Las partes prohibirán la exportación de desechos peligrosos y otros desechos, si el país importador prohíbe su importación. En el Convenio se estipula también que la información relativa a cualquier embarque vaya acompañada de un documento relativo a ese movimiento desde el lugar donde comience el movimiento transfronterizo hasta su destino final. De producirse la entrada en vigor de la Enmienda del Convenio de Basilea (decisión III/1 de la Conferencia de las Partes en el Convenio) quedaría prohibida la exportación de desechos

6 Sin embargo, se formulan exenciones especiales:

- Uso limitado (límites de concentración especificados) en empaque, pilas, algunos componentes en vehículos y en algún equipo eléctrico y electrónico, de conformidad con el Reglamento de la UE aplicado en Noruega.
- Las sustancias/los preparados y los productos sólidos procesados cuyo contenido de mercurio o compuestos de mercurio era menos de 0,001 % por peso.
- El timerosal es un conservante de vacunas.

El Reglamento no se aplica al uso de productos con fines analíticos y de investigación. Sin embargo, la prohibición se aplica a los termómetros de mercurio que se han de utilizar con fines analíticos y de investigación.

48. Los desechos peligrosos y otros desechos objeto de movimientos transfronterizos deberán ser embalados, etiquetados y transportados de conformidad con las normas y los reglamentos internacionales (Comisión de las Naciones Unidas para Europa (CEPE) 2007).

49. Cuando el Estado de importación o cualquier Estado de tránsito que sea parte lo solicite, el movimiento transfronterizo de desechos peligrosos u otros desechos deberá estar amparado por un seguro, una fianza u otra garantía.

50. Cuando no sea posible completar un movimiento transfronterizo de desechos peligrosos u otros desechos que cuente con el consentimiento de los países interesados, el país de exportación se cerciorará de que esos desechos les sean devueltos para que sean eliminados, si no se pueden lograr otros acuerdos para su eliminación de manera ambientalmente racional. Esto se hará dentro de 90 días a contar de la fecha en que el Estado de importación notifique a los Estados exportadores o dentro de cualquier otro período que convengan los Estados interesados. En caso de tráfico ilícito (como se define en el párrafo 1 del artículo 9), el país de exportación se cerciorará de que esos desechos les sean devueltos para su eliminación o de que sean eliminados de conformidad con las disposiciones del Convenio.

51. No se permitirán movimientos transfronterizos de desechos peligrosos u otros desechos entre una parte en el Convenio y un país que no sea parte a menos que exista un acuerdo bilateral, multilateral o regional, como se exige en el artículo 11 del Convenio.

52. Conviene señalar que la exportación de mercurio metálico y de ciertos compuestos y mezclas de mercurio desde la Unión Europea quedó prohibida desde el 15 de marzo de 2011 en el Reglamento (CE) nº 1102/2008 (Comisión Europea, 2010). De igual modo, la Ley de prohibición de la exportación de mercurio de 2008 prohibirá la exportación de mercurio elemental de los Estados Unidos a partir del 1 de enero de 2013 y exigirá el almacenamiento a largo plazo del mercurio.

4. Autorización e inspección de las instalaciones para la eliminación

53. Los desechos consistentes en mercurio elemental y los desechos que contienen o están contaminados por este deberán ser eliminados en instalaciones que practican el manejo ambientalmente racional.

54. La mayoría de los países cuentan con una legislación o un reglamento específico del sector que obliga a las plantas de eliminación de desechos a obtener alguna forma de aprobación o un permiso de explotación para comenzar sus operaciones. Las autorizaciones o los permisos de explotación podrán incluir condiciones específicas (diseño de la planta y condiciones de funcionamiento) que se deberán mantener para que la autorización o el permiso mantengan su validez. Tal vez sea necesario añadir requisitos específicos para los desechos consistentes en mercurio elemental y los desechos que contienen mercurio o están contaminados por este relativos al cumplimiento de los requisitos de manejo ambientalmente racional, que se ajusten a los establecidos en el Convenio de Basilea y tengan en cuenta las recomendaciones y directrices sobre las mejores técnicas disponibles, como las Directrices sobre las mejores técnicas disponible y la orientación provisional sobre mejores prácticas ambientales del Convenio de Estocolmo y los documentos de consulta de la Unión Europea sobre mejores técnicas disponibles y las directrices relativas al sector de cloro-álcalis del Consejo Mundial del Cloro y Euro Chlor[7]. Periódicamente se revisarán las autorizaciones o los permisos de funcionamiento y, de ser necesario, se actualizarán para aumentar la protección del trabajador y del medio ambiente mediante la aplicación de tecnologías nuevas o perfeccionadas.

55. Periódicamente, las instalaciones de evacuación deberán ser inspeccionadas por una autoridad independiente o una asociación de inspección técnica a fin de verificar el cumplimiento de los requisitos establecidos en el permiso otorgado a la instalación. La legislación deberá prever también inspecciones extraordinarias, si hay pruebas de incumplimiento.

C. Identificación e inventario

56. Es importante identificar las fuentes que generan desechos consistentes en mercurio elemental y desechos con contienen mercurio o están contaminados por este y cuantificar esos desechos y las

7 Véase la recopilación en http://www.unep.org/hazardoussubstances/Mercury/PrioritiesforAction/ChloralkaliSector/Reports/tabid/4495/language/en-US/Default.aspx

concentraciones de mercurio en inventarios a fin de poder adoptar medidas eficaces para prevenir, reducir al mínimo y manejar esos desechos.

1. Identificación

57. En la figura 2 se muestra el uso de mercurio en 2007 por aplicaciones a nivel mundial. El sector donde más se utiliza es en la extracción de oro artesanal y en pequeña escala, seguida de la producción de monómeros de cloruro de vinilo y de cloruro de polivinilo y la producción de cloro-álcalis. El mercurio se utiliza también para productos de consumo como pilas, amalgama dental, aparatos de medición, lámparas y dispositivos eléctricos y electrónicos, aunque la cantidad de mercurio en estas categorías de usos varía según el país. En 2007 el uso del mercurio fluctuaba entre 3.000 toneladas y 4.700 toneladas (Maxson 2010).

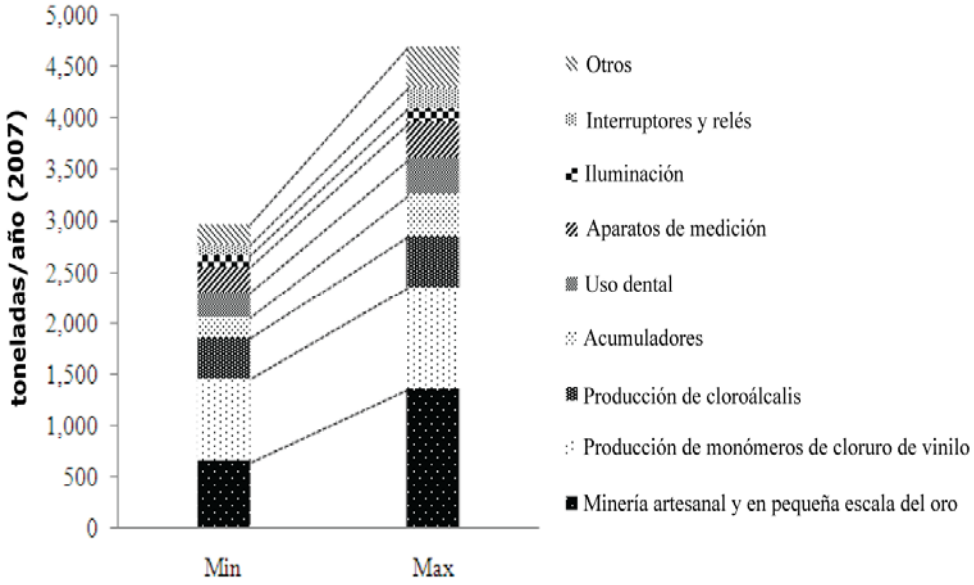

Figura -2 Uso mundial estimado del mercurio en 2007 (Maxson 2010)

58. Las fuentes, las categorías y los ejemplos de desechos consistentes en mercurio elemental y desechos con contienen mercurio o están contaminados por este se resumen en el cuadro -2.

59. Cabe señalar que, en algunos países, algunas de las fuentes industriales presentadas en el cuadro –2 (Fuentes 1, 2, 3, 4 y 7, con excepción de los procesos de producción que utilizan mercurio) no utilizan en modo alguno mercurio ni generan desechos consistentes en mercurio elemental ni desechos que contienen mercurio o están contaminados por este. Los procesos industriales dependen de las condiciones tecnológicas y sociales del país, y estas determinarán si se pueden introducir procesos que no utilizan mercurio.

Cuadro -2 Fuentes, categorías, ejemplos de desechos (PNUMA 2002; 2005; 2006b; 2006c).

- **A: Desechos consistentes en mercurio elemental; B: Desechos que contienen mercurio; C: Desechos contaminados por mercurio.**

Fuente	Categorías*	Ejemplos de tipos de desechos	Observaciones
1. Extracción y uso de combustibles/fuentes de energía			
1.1. Combustión de carbón en termoeléctricas	C	Residuos de la limpieza de gases de salida (cenizas volantes, partículas, agua de desechos/desechos líquidos, etc.)	• Acumulación en el fondo de cenizas y residuos de la limpieza de gases de salida.
1.2. Combustión de carbón con otros fines	C		
1.3. Extracción, refinación y uso de aceite mineral	C		
1.4. Extracción, refinación y uso del gas natural	C		
1.5. Extracción y uso de otros combustibles fósiles	C		
1.6. Generación de energía y calor a partir de la biomasa	C		

Fuente	Categorías*	Ejemplos de tipos de desechos	Observaciones
2. Producción de metal primario (virgen)			
2.1. Extracción primaria y procesamiento del mercurio	C	Residuos de la fundición	• Pirometalurgia del mineral de mercurio
2.2. Extracción y procesamiento inicial de metales (aluminio, cobre, oro, plomo, manganeso, mercurio, zinc, metal ferroso primario y metales no ferrosos)	C	Colas, residuos del proceso de extracción, residuos de la limpieza de los gases de salida, residuos del tratamiento de las aguas residuales	• Procesamiento industrial; • Tratamiento térmico del mineral; y • Amalgamación.
3. Procesos de producción con impurezas de mercurio			
3.1. Producción de cemento	C	Residuos de procesos, residuos de la limpieza de gases de salida, desechos líquidos	• Piroprocesamiento de materias primas y combustibles con impurezas de mercurio de origen natural
3.2. Producción de pulpa y papel			• Combustión de materias primas con impurezas de mercurio de origen natural
3.3. Hornos de producción de cal y de agregados livianos			• Calcinación de materias primas y combustibles con impurezas de mercurio de origen natural
4. Uso intencional del mercurio en procesos industriales			
4.1. Producción de cloro-álcalis con tecnología basada en el mercurio	A/C	Desechos sólidos contaminados por mercurio, mercurio elemental, residuos de procesos, suciedad	• Pila de mercurio; • Unidades de recuperación de mercurio (retorta).
4.2. Producción de alcoholados, ditionita y solución de hidróxido de potasio ultrapuro	A/C	Desechos sólidos contaminados por mercurio, mercurio elemental, residuos de procesos, suciedad	• Pila de mercurio; • Unidades de recuperación de mercurio (retorta).
4.3. Producción de monómeros de cloruro de vinilo con catalizador de cloruro mercúrico $HgCl_2$	A/B/C	Residuos de procesos	• Proceso con catalizadores de mercurio
4.4. Producción de acetaldehído con sulfato de mercurio ($HgSO_4$) como catalizador	C	Aguas residuales	• Proceso del sulfato de mercurio
4.5. Otra producción de sustancias químicas y productos farmacéuticos o catalizadores con compuestos de mercurio	C	Residuos de procesos, aguas residuales	• Proceso con catalizadores de mercurio
4.6. Producción de los artículos mencionados en la sección 5 *infra*	C	Residuos de procesos, aguas residuales	
5. Productos y aplicaciones con uso intencional del mercurio			
5.1. Termómetros y otros dispositivos de medición con mercurio	B	Productos usados, obsoletos o averiados	• Mercurio elemental
5.2. Interruptores, contactos y relés eléctricos y electrónicos con mercurio			
5.3. Fuentes de luz con mercurio	B		• Vapores de mercurio elemental • Mercurio divalente adsorbido en el polvo de fósforo
5.4. Pilas que contienen mercurio	B		• Mercurio elemental, óxido de mercurio

Fuente		Categorías*	Ejemplos de tipos de desechos	Observaciones
5.5.	Biocidas y plaguicidas	B	Existencias (plaguicidas caducados), suelo y desechos sólidos contaminados por mercurio	• Compuestos de mercurio (principalmente cloruro de etilmercurio)
5.6.	Pinturas	B	Existencias (plaguicidas caducados), suelo y desechos sólidos contaminados por mercurio, residuos del tratamiento de las aguas residuales	• Acetato fenilmercúrico y compuestos de mercurio análogos
5.7.	Productos farmacéuticos para uso humano y veterinario	B	Existencias (medicamentos obsoletos), desechos médicos	• Timerosal; • Cloruro de mercurio; • Nitrato fenilmercúrico; • Mercuro cromo, etc.
5.8.	Cosméticos y productos afines	B	Existencias	• Yoduro de mercurio; • Mercurio amoniacal, etc.
5.9.	Empastes de amalgama dental	B/C	Existencias, residuos del tratamiento de las aguas residuales	• Aleaciones de mercurio, plata, cobre y estaño
5.10.	Manómetros y medidores	B	Productos usados, obsoletos o averiados	• Mercurio elemental
5.11.	Productos químicos y equipo de laboratorio	A/B/C	Existencias, residuos del tratamiento de las aguas residuales, desechos de laboratorio	• Mercurio elemental; • Cloruro de mercurio, etc.
5.12.	Elastómeros de poliuretano	B/C	Desechos de productos defectuosos y excedentes, productos usados y al final de su vida útil	• Desechos de elastómeros que contienen compuestos de mercurio
5.13.	Esponja de oro/producción de oro a partir de fuentes de extracción de oro artesanal y en pequeña escala	C	Residuos de gases de salida, residuos del tratamiento de las aguas residuales	• Tratamiento térmico del oro; • Procesamiento industrial
5.14.	Uso de mercurio metálico en ritos religiosos y en la medicina tradicional	C	Desechos sólidos, residuos del tratamiento de las aguas residuales	• Mercurio elemental
5.15.	Usos de productos varios, usos del mercurio metálico y otras fuentes	B/C	Existencias, residuos del tratamiento de las aguas residuales, desechos sólidos	• Semiconductores de detección infrarroja con mercurio; • Dilatadores esofágicos y sondas Cantor; • Usos educativos, etc.
6. Producción de metal de segunda fusión				
6.1.	Recuperación de mercurio	A/C	Derrames durante el proceso de reciclado, residuos del proceso de extracción, residuos de la limpieza de gases de salida, residuos del tratamiento de las aguas residuales	• Desmontaje de plantas de cloro-álcalis; • Recuperación de medidores de mercurio usados en los conductos de gas natural; • Recuperación a partir de manómetros, termómetros, y otro equipo.
6.2.	Recuperación de metales ferrosos	C		• Trituración; • Fundición de materiales que contienen mercurio.
6.3.	Recuperación de oro a partir de desechos electrónicos (tarjeta de circuitos impresos)	A/C		• Mercurio elemental; • Proceso térmico
6.4.	Recuperación de otros metales	C		• Otros materiales o productos / componentes que contienen mercurio

Fuente	Categorías*	Ejemplos de tipos de desechos	Observaciones
7. Incineración de desechos			
7.1. Incineración de desechos sólidos urbanos	C	Residuos de la limpieza de los gases de salida, residuos del tratamiento de las aguas residuales	• Productos con mercurio añadido y desechos del proceso; • Impurezas naturales de mercurio en materiales de gran volumen (plásticos, papel, etc.) y minerales;
7.2. Incineración de desechos peligrosos			
7.3. Incineración de desechos médicos			
7.4. Incineración de los fangos cloacales			
8. Depósito/vertimiento de desechos y tratamiento de las aguas residuales t			
8.1. Vertederos/depósitos controlados	C	Aguas residuales, residuos del tratamiento de las aguas residuales, desechos sólidos contaminados por mercurio	• Productos con mercurio añadido y desechos residuales; Impurezas naturales de mercurio en materiales a granel (plásticos, latas, etc.) y minerales;
8.2. Depósito difuso bajo determinado control			
8.3. Eliminación local no controlada de desechos de la producción industrial			
8.4. Vertimiento no controlado de desechos en general			
8.5. Sistema/tratamiento de aguas residuales		Residuos del tratamiento de las aguas residuales, fangos de lavado	• Mercurio utilizado intencionalmente en productos agotados y desechos residuales; • Mercurio como trazas de contaminantes antropógenos en materiales a granel.
9. Crematorios y cementerios			
9.1. Crematorios	C	Residuos de la limpieza de gases de salida, residuos del tratamiento de las aguas residuales	• Empastes de amalgama dental
9.2. Cementerios		Suelos contaminados por mercurio	

60. Se puede obtener información más detallada acerca de productos con mercurio añadido (nombre específico y fabricante de los productos) de las siguientes fuentes:

a) PNUMA (2008c): Informe sobre los principales productos y procesos que contienen mercurio, sus productos sustitutivos y las experiencias en su sustitución, http://www.chem.unep.ch/mercury/OEWG2/documents/g72)/Spanish/OEWG_2_7_Add_1_s.pdf;

b) Comisión Europea (2008): Opciones para reducir el uso de mercurio en productos y aplicaciones, y el destino del mercurio que ya está circulando en la sociedad, http://ec.europa.eu/environment/chemicals/mercury/pdf/study_report2008.pdf;

c) PNUMA, Asociación Mundial sobre el Mercurio – Mercury-Containing Products Partnership Area, http://www.chem.unep.ch/mercury/Sector-Specific-Information/Mercury-in-products.htm;

d) Lowell Center for Sustainable Production (2003): An Investigation of Alternatives to Mercury-Containing Products, http://www.chem.unep.ch/mercury/Sector-Specific-Information/Docs/lcspfinal.pdf;

e) The Interstate Mercury Education and Reduction Clearinghouse (IMERC) Mercury-Added Products Database: http://www.newmoa.org/prevention/mercury/imerc/notification.

2. Inventarios

61. Los inventarios son un instrumento importante para identificar, cuantificar y caracterizar los desechos. Los inventarios nacionales pueden utilizarse para:

a) Establecer parámetros de referencia de cantidades de productos con mercurio añadido producidos, distribuidos/comercializados o en uso, y mercurio como mercancía y desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contienen mercurio o están contaminados por este;

b) Establecer un registro de información que apoye las inspecciones reglamentarias y de la seguridad;

c) Obtener información exacta necesaria para elaborar planes de gestión durante el ciclo de vida del mercurio;

d) Apoyar la preparación de planes de respuesta en casos de emergencia;

e) Determinar los progresos logrados en la reducción y eliminación del mercurio.

62. Tras identificar las fuentes y los tipos de desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contienen mercurio o están contaminados por este, se deberán utilizar la información y las cantidades específicas de los procesos para calcular la cantidad de desechos procedentes de fuentes detectadas de diferentes tipos de desechos en un país (o zona, comunidad, etc.) en particular (PNUMA 2005).

63. Es muy difícil reunir los datos necesarios para calcular esas cantidades, en particular en los países en desarrollo y los países con economías en transición debido a la falta (o carencia) de datos, en particular cuando se trata de instalaciones en pequeña escala. En casos en que no sea viable contar con mediciones propiamente, se podrían reunir datos por medio de cuestionarios.

64. La Guía metodológica para la realización de inventarios nacionales de desechos peligrosos en el marco del Convenio de Basilea (SCB 2000) deberá utilizarse para elaborar inventarios de desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contienen mercurio o están contaminados por este. La Guía metodológica se ha ensayado también conjuntamente con el Proyecto piloto de inventarios nacionales de desechos peligrosos, elaborado por el centro regional del Convenio de Basilea de la SCB en Asia sudoriental, cuyo informe se puede utilizar como material de consulta práctico[8].

65. Convendría también utilizar el Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio (PNUMA 2010a). Este Instrumental ayuda a los países a crear una base de conocimientos mediante la recopilación del inventario sobre el mercurio que indica las fuentes de liberación de mercurio en el país y calcula o cuantifica las liberaciones. El Instrumental es una metodología simple y uniforme para producir inventarios de mercurio nacionales y regionales coherentes (PNUMA 2005). El Instrumental se ha aplicado en algunos países (PNUMA 2008c).

66. En consonancia con el enfoque basado en el ciclo de vida, se deberán determinar también los canales o rutas por las que el mercurio dimanante de los desechos es liberado al medio ambiente. Habida cuenta de los posibles riesgos de liberación de mercurio al medio ambiente, se deberán clasificar los tipos de desechos según la prioridad para la adopción de medidas. Se reunirá información sobre posibles medidas, sobre todos respecto de las fuentes y los tipos de desechos de mercurio que contengan gran cantidad de mercurio y entrañen mayores riesgos de liberación de mercurio al medio ambiente. A continuación se analizarán o evaluarán las medidas en cuanto a la cantidad de mercurio liberado al medio ambiente que se pueda prevenir, los gastos administrativos y sociales, la disponibilidad de técnicas e instalaciones y la facilidad de llegar a un acuerdo social relacionado con la aplicación de esas medidas, etc.

67. En algunos países, se utiliza un Registro de Emisiones y Transferencias Contaminantes (PRTR) para reunir datos acerca del contenido específico de mercurio en desechos y su transferencia en cada planta (Kuncova 2007). Los datos del Registro son también de uso público[9].

D. Muestreo, análisis y vigilancia

68. El muestreo, el análisis y la vigilancia son componentes fundamentales del manejo de desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contienen mercurio o están contaminados por este. La labor de muestreo, análisis y vigilancia deberá estar a cargo de profesionales calificados de conformidad con un plan bien concebido y utilizando métodos internacionalmente aprobados o nacionalmente aprobados, y se aplicará el mismo método cada vez mientras dure el programa. También deberán aplicarse medidas rigurosas de garantía y control de la calidad. Los errores en el muestreo, el análisis o la vigilancia o la desviación de los procedimientos operacionales estándar puede arrojar datos sin valor alguno o incluso datos que perjudiquen el programa. Cada parte, si procede, se cerciorará por tanto de que se imparta capacitación, se apliquen los protocolos y exista la

8 http://www.bcrc-sea.org/?content=publication&cat=2

9 Por ejemplo, el registro de emisiones y transferencias contaminantes de la República Checa, conocido como Registro Integrado de la Contaminación (descargable en http://www.irz.cz), reúne información química específica acerca del mercurio y los compuestos de mercurio transferidos en los desechos, y ofrece una clara idea de la cantidad total de mercurio transferida en los desechos, así como datos sobre cómo manipular los desechos.

capacidad de laboratorio para utilizar los métodos de muestreo, vigilancia y análisis, y se cumplan esas normas.

69. Debido a las múltiples razones que existen para el muestreo, el análisis y la vigilancia y a las muy diferentes formas físicas de los desechos, se dispone de métodos muy diferentes de muestreo, análisis y vigilancia. Aunque analizar concretamente estos aspectos queda fuera del ámbito del presente documento, en las tres secciones que siguen se examinan los elementos claves implícitos en el muestreo, el análisis y la vigilancia.

70. En la serie de la OCDE (OCDE, durante varios años) figura información sobre buenas prácticas de laboratorio que convendría utilizar; en relación con los aspectos metodológicos generales, el documento de la OMS y el PNUMA, *Guidance for Identifying Populations at Risk from Mercury Exposure*, contiene información útil[10].

1. Muestreo

71. El objetivo general de cualquier actividad de muestreo es obtener una muestra que se pueda usar con el fin previsto, por ejemplo, la caracterización de un lugar, el cumplimiento de normas reglamentarias o la idoneidad del tratamiento o la eliminación propuestos. Este objetivo deberá establecerse antes de iniciar el muestreo. Es indispensable que se cumplan los requisitos de calidad del equipo, el transporte y la trazabilidad.

72. Se deberán establecer y acordar procedimientos estándar de muestreo antes de comenzar la campaña de muestreo (tanto de la matriz de mercurio como del mercurio específico). Los elementos de esos procedimientos son los siguientes:

a) El número de muestras que se van a tomar, la frecuencia de muestreo, la duración del proyecto de muestreo y una descripción del método de muestreo (incluidos los procedimientos de garantía de la calidad existentes, es decir los contenedores de muestreo apropiados[11], espacios en blanco y cadena de custodia);

b) Selección del lugar o los lugares y el momento de tomar la muestra (incluida la descripción y la ubicación geográfica);

c) Identidad de la persona que toma la muestra y condiciones durante el muestreo;

d) Descripción completa de las características de la muestra – etiquetado;

e) Preservación de la integridad de las muestras durante el transporte y almacenamiento (antes del análisis);

f) Cooperación estrecha entre el empleado que toma las muestras y el laboratorio analítico; y

g) Personal de muestreo debidamente capacitado.

73. El muestreo deberá ajustarse a la legislación nacional específica, si existe, o al reglamento internacional. En países donde no exista un reglamento, se nombrará personal calificado. Los procedimientos de muestreo son los siguientes:

a) Elaborar un procedimiento operacional único para el muestreo de cada una de las matrices para los análisis del mercurio posteriores;

b) Aplicar procedimientos de muestreo reconocidos, como los elaborados por la Organización Internacional de Normalización (ISO), el Comité Europeo de Normalización (CEN), el Organismo de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA de los Estados Unidos), el Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente (SIMUVIMA) o la American Society for Testing and Materials (ASTM); y

c) Establecer procedimientos de garantía y control de la calidad.

74. Para que el programa se realice con éxito se deberán aplicar todas esas medidas. Asimismo, la documentación debe ser exhaustiva y rigurosa.

75. Los tipos de matrices que se suelen muestrear en relación con el mercurio son sólidos, líquidos y gases:

10 http://www.unep.org/hazardoussubstances/LinkClick.aspx?fileticket=DUJZp8XnXq8%3d&tabid=3593&language=en-US

11 No se deben utilizar botellas de polietileno porque son permeables al mercurio. Remítase a Parker y otros (2005) para más información.

a) Líquidos:

i) Lixiviado de vertederos y depósitos;

ii) Líquido recogido de derrames;

iii) Agua (agua superficial, agua potable y efluentes industriales);

iv) Materiales biológicos (sangre, orina, pelo; especialmente en el caso de vigilancia de la salud de los trabajadores);

b) Sólidos:

i) Existencias, productos y formulaciones consistentes en mercurio, que contienen mercurio o estén contaminados con este;

ii) Sólidos de fuentes y procesos industriales de tratamiento o eliminación (cenizas volantes, cenizas depositadas, líquidos residuales, sedimentos, otros residuos, ropa, etc.);

iii) Contenedores, equipo u otros materiales de empaque (muestras enjuagadas o secadas), incluidos los tejidos o telas usados en la recogida de muestras enjuagadas;

iv) Suciedad, sedimentos, escombros, aguas cloacales y abono orgánico;

c) Gases:

i) Aire (en interiores).

76. En los programas de vigilancia del medio ambiente y la salud humana, se pueden incluir tanto matrices bióticas como abióticas:

a) Materia vegetal y alimentos;

b) Cabello humano, orina, uñas, leche materna o sangre;

c) Aire (ambiente, depósitos húmedos o secos o, posiblemente, nieve).

2. Análisis

77. Se entiende por análisis la extracción, purificación, separación, identificación, cuantificación y notificación de las concentraciones de mercurio en la matriz de interés. Con miras a obtener resultados significativos y aceptables, el laboratorio analítico deberá contar con la infraestructura necesaria (locales) y experiencia probada con la matriz y el espécimen de mercurio (por ejemplo, participación satisfactoria en estudios de comparación entre laboratorios en planes de pruebas de competencia externa).

78. También es importante que el laboratorio haya sido homologado conforme a la norma ISO 17025 u otras normas por un organismo independiente. Los criterios esenciales para obtener resultados de alta calidad son:

a) Especificación de la técnica analítica;

b) Mantenimiento del equipo analítico;

c) Validación de todos los métodos utilizados (incluidos los métodos propios);

d) Capacitación del personal de laboratorio.

79. Por regla general, el análisis del mercurio se lleva a cabo en laboratorios especializados. En situaciones específicas se dispone de aparatos de ensayo que se pueden usar en la práctica para examinar las muestras.

80. Para el análisis del mercurio no se dispone de un método analítico único. Los métodos para analizar las diversas matrices del mercurio, ya sea el contenido total de mercurio o la especiación del mercurio, han sido elaborados por la Organización Internacional de Normalización (ISO), el Comité Europeo de Normalización (CEN) o los métodos nacionales como los de los Estados Unidos (EPA de los EE.UU.) o el Japón. En el cuadro –3 se ofrecen algunos ejemplos de análisis del mercurio en los desechos, los gases de salida y las aguas residuales. La mayoría de los métodos propios son variaciones de estos. Al igual que ocurre con todos los análisis químicos, solo los métodos homologados deberán utilizarse en el laboratorio.

81. Además, se deberán establecer los procedimientos y los criterios de aceptación para la manipulación y preparación de la muestra en el laboratorio, por ejemplo, la homogeneización.

82. Los distintos pasos en la determinación analítica son:

a) Extracción;

b) Purificación;

c) Identificación con detectores idóneos, como plasma de acoplamiento inductivo, espectrometría de absorción atómica; instrumentos compactos;

d) Cuantificación y notificación de datos, según proceda;

e) Presentación de informes según el reglamento.

3. Vigilancia

83. En el apartado b) del párrafo 2 de su artículo 10 ("Cooperación internacional"), el Convenio de Basilea exige a las partes "cooperar en la vigilancia de los efectos del manejo de los desechos peligrosos sobre la salud humana y el medio ambiente". Los programas de vigilancia deberán aportar indicios de si una actividad de manejo de los desechos peligrosos funciona como se ha concebido, y deberán detectar cambios en la calidad ambiental causados por esa actividad.

84. La información obtenida del programa de vigilancia deberá utilizarse para cerciorarse de que en la actividad de manejo de los desechos se están manipulando los tipos adecuados de desechos peligrosos, poner al descubierto y reparar cualquier daño y determinar la posibilidad de aplicar un método de manejo alternativo. Mediante la ejecución del programa de vigilancia, los administradores de la planta puede detectar problemas y adoptar las medidas pertinentes para rectificarlos.

85. Cabe señalar que en la red comercial ya se pueden adquirir algunos sistemas de medición continua del mercurio. En la legislación nacional o local se pueden incorporar disposiciones relativas a esa vigilancia.

Cuadro -3 Análisis químico del mercurio en los desechos, los gases de salida y las aguas residuales

Objetivo		Método
Desechos	Determinar la movilidad del mercurio en los desechos	Norma europea 12457-1 a 4: Caracterización de residuos - Lixiviación - Ensayo de conformidad para la lixiviación de residuos granulares y lodos (Comité Europeo de Normalización 2002a)
		Norma europea 12920: Caracterización de residuos - Metodología para la determinación del comportamiento durante el lixiviado de residuos en condiciones específicas (Comité Europeo de Normalización 2006)
		Norma europea 13656: Caracterización de residuos - Digestión con mezcla de ácido fluorhídrico (HF), ácido nítrico (HNO3) y ácido clorhídrico (HCl), asistida con microondas, para la posterior determinación de elementos (Comité Europeo de Normalización 2002b)
		Norma europea 13657: Caracterización de residuos – Digestión en agua regia para la determinación posterior de la porción de elementos en el residuo soluble (Comité Europeo de Normalización 2002c)
		Especificación técnica 14405: Caracterización de residuos – Prueba de comportamiento de lixiviación - Ensayo de percolación del flujo ascendente (Comité Europeo de Normalización 2004)
		Método 1311 de EPA de los EE.UU.: Procedimiento de lixiviación para determinar la toxicidad (EPA de los EE.UU. 1992)
	Determinar las concentraciones de mercurio en los desechos	Norma europea 13370: Caracterización de residuos - Análisis de eluatos - Determinación de amoníaco, AOx, conductividad, Hg, índice de fenoles, carbono orgánico total, CN- fácilmente liberable y F- (Comité Europeo de Normalización 2003)
		Norma europea 15309: Caracterización de residuos y del suelo – Determinación de la composición elemental por fluorescencia de rayos X (Comité Europeo de Normalización 2007)
		Método 7471B del EPA de los Estados Unidos: El mercurio en desechos sólidos o semisólidos (Técnica manual en frío y al vapor) (EPA de los Estados Unidos 2007d)

Objetivo		Método
		Método 7473 del EPA de los Estados Unidos: El mercurio en sólidos y soluciones por descomposición térmica, amalgamación y espectrometría de absorción atómica (EPA de los Estados Unidos 2007e)
		Método 7470A del EPA de los Estados Unidos: Desechos líquidos con mercurio (Técnica manual en frío y al vapor) (EPA de los Estados Unidos 1994)
Gases de salida		Norma europea 13211: Calidad del aire - Emisiones de fuentes estacionarias – Método manual de determinación de la concentración de mercurio total (Comité Europeo de Normalización 2001) * Con este métodos se determina el contenido de mercurio total (es decir, Hg metálico/ elemental + Hg iónico).
		Norma europea 14884: Calidad del aire - Emisiones de fuentes estacionarias - Determinación de mercurio total: Sistemas automáticos de medida. (Comité Europeo de Normalización 2005)
		JIS K 0222: Método analítico del mercurio en los gases de salida (Asociación de Normas del Japón 1997)
		Método 0060 del EPA de los Estados Unidos: Determinación de metales en emisiones de combustión (EPA de los Estados Unidos 1996)
	Para la especiación de mercurio	ASTM D6784 - 02(2008) Método de ensayo uniforme para el mercurio elemental, oxidado, combinado con partículas y total en los gases de salida generados de fuentes estacionarias alimentadas con carbón (Ontario Hydro Method) (ASTM International 2008)
Aguas residuales		ISO 5666: 1999: Calidad del agua – Determinación del mercurio (ISO 1999)
		ISO 16590: 2000: Calidad del agua – Determinación del mercurio – Métodos que suponen el enriquecimiento mediante amalgamación (ISO 2000)
		1SO 17852: 2006: Calidad del agua – Determinación del mercurio – Método que utiliza la espectrometría de fluorescencia atómica (ISO 2006)

E. Prevención y reducción al mínimo de los desechos

86. La prevención y reducción al mínimo de desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contienen mercurio o están contaminados por este es lo primero y lo más importante que hay que hacer en cuanto al manejo ambientalmente racional de esos desechos. En el párrafo 2 de su artículo 4, el Convenio de Basilea exhorta a las partes a "reducir al mínimo la generación de desechos peligrosos y otros desechos". En esta sección figura información relativa a fuentes de desechos importantes.

1. Prevención y reducción al mínimo de los desechos de procesos industriales

87. Son varios los procesos industriales que utilizan mercurio; ahora bien, debido a la cantidad de mercurio utilizado en esos procesos, en la presente sección se analizan las medidas de prevención y reducción al mínimo de los desechos solo en lo que atañe a la minería artesanal y en pequeña escala del oro, la producción de monómeros de cloruro de vinilo y la producción de cloro y sosa cáustica (cloroálcalis).

a) Extracción de oro artesanal y en pequeña escala

88. Existen técnicas que no utilizan mercurio: los métodos gravimétricos; Centro de Tecnología Mineral (CETEM); la combinación de métodos que no utilizan mercurio. En los casos en que no se dispone de alternativas organizadas, se deberán utilizar soluciones provisionales que faciliten la introducción de técnicas que no utilizan mercurio, como pueden ser las tecnologías de captura y reciclado del mercurio, como retortas y campanas de ventilación, la reactivación del mercurio y la no utilización de procedimientos que requieren mucho mercurio, como la amalgamación de la mena completa. En los siguientes materiales de consulta se puede obtener información más detallada:

a) Proyecto Mundial del Mercurio (2006): Manual for Training Artisanal and Small-Scale Gold Miners, ONUDI, Viena (Austria), www.cetem.gov.br/gmp/Documents/total_training_manual.pdf;

b) Proyecto de minería, minerales y desarrollo sostenible (2002): Minería artesanal y en pequeña escala, Documentos sobre minería y desarrollo sostenible de las Naciones Unidas y otras organizaciones;

c) PNUMA (2010b): Informe del Foro sobre minería artesanal y en pequeña escala del oro a nivel mundial, http://www.unep.org/hazardoussubstances/GlobalForumonASGM/tabid/6005/Default.aspx;

d) PNUMA (2011): Informes y publicaciones de la Asociación Mundial sobre el Mercurio, http://www.unep.org/hazardoussubstances/Mercury/PrioritiesforAction/ArtisanalandSmallScaleGold Mining/Reports/tabid/4489/language/en-US/Default.aspx;

e) EPA de los Estados Unidos (2008): Manual for the Construction of a Mercury Collection System for Use in Gold Shops, http://www.epa.gov/oia//toxics/asgm.html.

89. Los mineros artesanales, sus familias y las comunidades circundantes deberán conocer: los riesgos de la exposición al mercurio y los peligros implícitos para la salud y los efectos ambientales del uso del mercurio en la extracción de oro artesanal y en pequeña escala.

90. Una vez que haya aumentado el conocimiento de estas cuestiones, se deberá impartir capacitación en técnicas y sistemas para prevenir la generación de desechos.

b) Producción de monómeros de cloruro de vinilo

91. La producción de monómeros de cloruro de vinilo mediante el proceso del acetileno empleo cloruro mercúrico como componente del catalizador. Hay posibilidades de prevención y reducción al mínimo de los desechos que corresponden a dos categorías primordiales: a) métodos alternativos de fabricación que no utilizan mercurio; y b) mejor gestión del mercurio durante el proceso y control ambiental para capturar las liberaciones.

92. Producción de monómeros de cloruro de vinilo sin utilizar mercurio: El monómero de cloruro de vinilo se fabrica con diversos métodos que no utilizan mercurio, que se basan de ordinario en la oxicloración del etileno (The Office of Technology Assessment 1983). Pese a que los métodos que no utilizan mercurio son comunes en todo el mundo, en algunos países el proceso con acetileno se sigue utilizando porque es mucho menos costoso en lugares donde el carbón es más barato que el etileno (Maxson 2011). Se están desplegando esfuerzos serios para crear un catalizador que no utilice mercurio para el proceso con acetileno. Se ha programado para principios de 2012 un ensayo de demostración a escala comercial de un catalizador que no utiliza mercurio. Si este ensayo tiene buenos resultados, la empresa que está fabricando el catalizador se propone producirlo, por lo que en los próximos años cabe prever una transición a un monómero de cloruro de vinilo sin mercurio (Jacobs y Johnson Matthey 2011).

93. Las medidas propuestas para reducir la generación de desechos contaminados por mercurio son: mejor gestión del mercurio y control ambiental para capturar las emisiones; desarrollo y aplicación de un catalizador con bajo contenido de mercurio; reforma tecnológica para prevenir la evaporación del cloruro mercúrico; prevención de venenos de los catalizadores; y aplazamiento de la deposición de carbono para reducir el uso del mercurio. Las medidas de control ambiental para captar las emisiones de mercurio son: adsorción mediante carbón activado en el extractor de mercurio y desadificación por medio de torres de espumación y de lavado; reciclado y reutilización del efluente que contiene mercurio; recogida de fangos cloacales que contienen mercurio; y recuperación del mercurio de sustancias evaporadas que lo contienen; perfeccionamiento de los controles de las emisiones en los recicladores y productores de catalizadores. Se deberá consultar el Informe del proyecto sobre la reducción del uso y las emisiones de mercurio en la producción de Carbide PVC" (Ministerio de Protección Ambiental, China 2010) para obtener más información.

c) Producción de cloroálcalis

94. A medida que las fábricas van sustituyendo los procesos de fabricación de pilas de mercurio con procesos que no utilizan mercurio, se van eliminando emisiones y desechos de esta sustancia. La producción de cloroálcalis sin la utilización de mercurio emplea procesos ya sea de diafragma o de membrana. De las dos, la tecnología de membrana es la más eficaz en función de los costos, debido a que consume menos electricidad total (Maxson 2011). Aunque el proceso de fabricación de pilas de mercurio está siendo eliminado, todavía en 2010 había unas 100 plantas que utilizaban este procedimiento en 44 países (PNUMA, Asociación Mundial sobre el Mercurio – Reducción del

Mercurio en el Sector de los Cloroálcalis 2010). En 2010, las plantas de cloro-álcali para la fabricación de pilas de mercurio representaban cerca del 10% de la capacidad de producción mundial de cloro-álcalis. En el Japón, las pilas de mercurio dejaron de utilizarse en 1986. A principios de 2010, 31% de la capacidad de producción de cloro en Europa se basaba en la tecnología de las pilas de mercurio (Euro Chlor 2010). Los fabricantes de cloro europeos se han comprometido a sustituir o cerrar todas las plantas de cloroálcalis que producen pilas de mercurio para 2020 (Euro Chlor 2010). En los Estados Unidos, el uso del proceso de pilas de mercurio disminuyó de 14 plantas en 1996 a cinco en 2007 (Instituto del Cloro 2009). Según la información proporcionada por el Consejo Mundial del Cloro, las plantas de cloroálcalis de Europa generaron 43.293 toneladas de desechos sólidos en 2009. De incluirse América del Norte, la India, Rusia, el Brasil, la Argentina y el Uruguay, la generación total de desechos notificada por este sector fue de 69.954 toneladas en 2009[12]. No hay información de la cantidad de desechos generados por otras plantas del mundo.

95. Los desechos contaminados con el mercurio generado por las plantas de cloroálcalis pueden ser fangos cloacales semisólidos resultantes del tratamiento con agua, salmuera y sosa cáustica, el grafito y el carbono activado del tratamiento de gases, los residuos de la destilación en retortas y el mercurio en tanques/sumideros. Además de la vigilancia de posibles fugas y de una buena administración, la reducción de la evaporación del mercurio y un mejor control de las emisiones de mercurio, la recuperación del mercurio de las aguas residuales y del grafito y el carbón del tratamiento de los gases de combustión y del tratamiento con sosa cáustica podrían reducir la generación de desechos. En los siguientes documentos de consulta o sitios web se puede consultar más información:

a) Comisión Europea (2001): Prevención y control integrados de la contaminación – Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en la industria de los cloroálcalis [en proceso de actualización].

b) Sector de cloro-álcalis de la Asociación Mundial sobre el Mercurio: http://www.unep.org/hazardoussubstances/Mercury/InterimActivities/Partnerships/ChloralkaliSector/tabid/3560/language/en-US/Default.aspx (este sitio web contiene más de 20 directrices para esta industria).

2. Prevención y reducción al mínimo de los desechos de productos con mercurio añadido

96. La introducción de alternativas que no contienen mercurio y la prohibición de los productos con mercurio añadido son maneras importantes de prevenir la generación de desechos que contienen mercurio. Como medida de transición, el establecimiento de límites máximos al contenido de mercurio en los productos ayudaría también a reducir la generación de desechos que contienen mercurio, si no se dispone de alternativas que no contienen mercurio o demora mucho su eliminación. La adquisición de productos no contaminantes puede facilitar la sustitución de los productos con mercurio añadido por alternativas que no contienen mercurio o contienen poco mercurio.

97. Cuando todavía se utilicen productos que contienen mercurio, es conveniente establecer un sistema cerrado seguro para la utilización del mercurio. Se deberá prevenir la contaminación por mercurio de las corrientes de desecho mediante:

a) productos que no contengan mercurio;

b) el establecimiento de límites máximos al contenido de mercurio en los productos; y

c) la adquisición.

98. Los desechos que contienen mercurio deberán ser separados y recogidos, entonces el mercurio deberá recuperarse a partir de los desechos y utilizarse en la producción (en lugar de utilizar mercurio primario) o eliminarse de manera ambientalmente racional (véase la Figura -). La responsabilidad ampliada de los productores deberá utilizarse como instrumento para alentar la fabricación de productos que no contienen mercurio o que contienen poco mercurio y la recogida de productos al final de su vida útil.

12 http://www.unep.org/hazardoussubstances/Portals/9/Mercury/Documents/chloralkali/WCC_Hg_reporting2009.pdf.

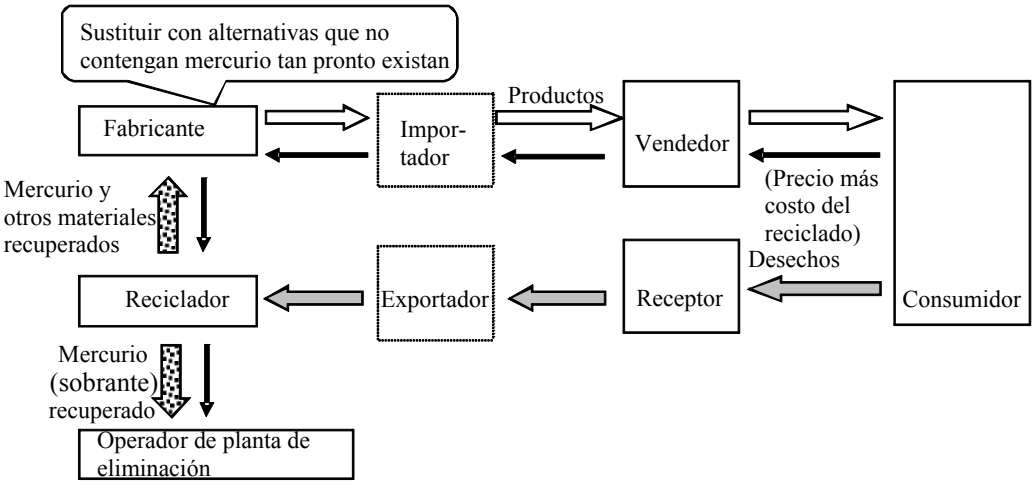

Figura --3 Sistema cerrado de aprovechamiento del mercurio

a) Productos que no contienen mercurio

99. La sustitución del mercurio en los productos depende de factores como el costo del producto, el efecto en el medio ambiente y la salud humana, la tecnología, las políticas oficiales y las economías de escala. Ya se dispone de muchos tipos de alternativas que no contienen mercurio. En las publicaciones que se indican a continuación figura información pormenorizada acerca de las alternativas que no contienen mercurio:

a) Informe sobre los principales procesos y productos que contienen mercurio, sus productos sustitutivos y las experiencias en su sustitución por procesos y productos que no utilicen mercurio (PNUMA 2008b);

b) Opciones para reducir el uso de mercurio en productos y aplicaciones, y el destino del mercurio que ya está circulando en la sociedad (Comisión Europea 2008);

c) *An Investigation of Alternatives to Mercury Containing Products*, preparada para el Departamento de Protección del Medio Ambiente de Maine (Galligan y otros, 2003) Lowell Center for Sustainable Production, Universidad de Lowell, MA, 2003, http://www.maine.gov/dep/el mercurio/lcspfinal.pdf.

b) Establecimiento de límites máximos al contenido de mercurio en los productos

100. Se deberán establecer límites al contenido de mercurio para los productos con mercurio añadido hasta que se puedan prohibir o eliminar porque de esa manera se utilizará menos mercurio en la etapa de producción, lo que, a su vez, limitará las emisiones de mercurio durante todo el ciclo de vida del producto. El establecimiento de límites máximos al contenido de mercurio en los productos se puede lograr mediante requisitos legales (véanse ejemplos en la sección III, B, 2 *infra*) o medidas voluntarias en el marco de un plan de gestión ambiental/del mercurio anunciado públicamente por el sector industrial. Como ya se dijo, se han establecido requisitos legales para la cantidad máxima de mercurio en cada unidad para los acumuladores y las lámparas fluorescentes en la UE para ambos productos, y en varios estados de los EE.UU. para los primeros. En el Japón, la asociación industrial correspondiente establece los límites máximos para las lámparas fluorescentes, y esos límites se han adoptado como criterio en la selección de lámparas fluorescentes para la adquisición ecológica por parte del gobierno nacional.

101. Con miras a reducir el uso del mercurio en las lámparas fluorescentes, los fabricantes han elaborado sus propias tecnologías para asegurar que se incluya una cantidad fija de mercurio en cada lámpara, para que esté presente la cantidad mínima y necesaria de mercurio que asegure los resultados previstas de cada tipo de lámpara. Ejemplos de métodos para inyectar cantidades exactas de mercurio en las lámparas son el uso de la amalgama de mercurio, la pastilla de aleaciones de mercurio, el anillo de aleaciones de mercurio y la cápsula de mercurio en lugar de inyectar el mercurio elemental (Ministerio del Medio Ambiente del Japón, 2010).

102. El uso de la dosificación de la amalgama de mercurio parece presentar ventajas ambientales y de rendimiento respecto del uso del mercurio elemental durante todo el ciclo de vida de las lámparas fluorescentes compactas y de otros tipos de lámparas con mercurio añadido. Su ventaja es que se reduce al mínimo la exposición de los trabajadores y consumidores, así como la liberación al medio

ambiente, al vapor de mercurio durante la fabricación, el transporte, la instalación, el almacenamiento y el reciclado y la eliminación, en particular cuando las lámparas se rompen. Además, este método acertado de dosificación permite a los fabricantes producir lámparas fluorescentes compactas que contienen muy bajo contenido de mercurio (dos miligramos o menos) sin dejar de cumplir importantes requisitos de comportamiento, incluido un alto rendimiento y una larga vida útil.

c) Adquisición

103. Se deberán alentar los programas de adquisición de productos que no contienen mercurio a fin de procurar la prevención de los desechos y promover usos de productos que no contienen mercurio y productos que contienen menos mercurio. El objetivo de las prácticas de adquisición deberá ser "adquirir productos que no contienen mercurio", con excepción de los pocos casos en que no se disponga práctica o tecnológicamente de productos con mercurio añadido, o "adquirir productos con un contenido mínimo de mercurio".

104. Los grandes consumidores de productos con mercurio añadido, como las instituciones oficiales y los centros de salud, pueden desempeñar una importante función de estímulo a la demanda de productos que no contienen mercurio poniendo en práctica programas de adquisición que no perjudiquen el medio ambiente. En algunos casos, se podrían utilizar incentivos financieros para alentar esos programas de adquisición. Algunos Estados de los Estados Unidos, por ejemplo, han subsidiado la adquisición de termómetros que no utilizan mercurio.

3. Responsabilidad ampliada del productor

105. Se entiende por responsabilidad ampliada del productor “un enfoque de la política ambiental según el cual la responsabilidad del productor se amplía hasta la etapa del ciclo de vida de un producto posterior al consumo”. Se considera que el "productor[13]" es el propietario de la marca de fábrica o el importador, excepto en casos como el empaque, y en situaciones en las que el propietario de la marca de fábrica no está claramente definido, como ocurre con los equipos electrónicos, el fabricante (y el importador) sería el productor (OCDE, 2001a). Los programas de responsabilidad ampliada del productor hacen responsable al productor de la gestión de los productos hasta el final de su vida útil, ya que pone el producto por primera vez en el mercado, y exime a los gobiernos municipales, además esos programas prevén incentivos para que los productores incorporen consideraciones ambientales en el diseño de sus productos de manera que los costos ambientales del tratamiento y la eliminación se incorporen en el costo del producto. La responsabilidad ampliada de los productores se puede imponer mediante procedimientos obligatorios, negociados o voluntarios. Los programas de recogida para la recuperación pueden ser parte de los de responsabilidad ampliada del productor (véase la sección F, 3, b), d).

106. Los programas de responsabilidad ampliada del productor, según su diseño, pueden lograr algunos objetivos: 1) aliviar al gobierno local de la carga financiera y, en ocasiones, operacional de la eliminación de los desechos/productos/materiales, 2) alentar a las empresas a diseñar productos con miras a su posible reutilización, reciclado y a la reducción de los materiales (en lo que se refiere a cantidad y peligrosidad) ; 3) incorporar los costos del manejo de los desechos en el precio del producto; 4) promover la innovación en la tecnología de reciclado. Esto promueve un mercado que refleja los efectos ambientales de los productos (OCDE 2001a). En varias publicaciones de la OCDE se pueden consultar descripciones pormenorizadas de planes de responsabilidad ampliada del productor[14].

107. Las autoridades ambientales deberán crear marcos reglamentarios en los que se determinen las responsabilidades de los interesados directos pertinentes, las normas relativas al contenido de mercurio y el manejo de los productos y los componentes del programa de responsabilidad ampliada del productor, además de alentar la participación de las partes interesadas y del público. También deberán encargarse de la vigilancia de los resultados prácticos de los programas de responsabilidad ampliada del productor (por ejemplo, cantidad de desechos recogidos, cantidad de mercurio recuperado y costos acumulados de la recogida, el reciclado y el almacenamiento) y de recomendar los cambios que sean necesarios. La responsabilidad deberá recaer en todos los productores de los productos de que se trate y no se deberá permitir que existan beneficiarios parásitos (productores que no asumen sus responsabilidades), de lo contrario los demás productores tendrán que asumir costos que no son desproporcionados respecto de la parte que les corresponde a sus productos en ese mercado.

13 La Directiva 2008/98/CE de la Unión Europea dispone que toda persona natural o jurídica que profesionalmente cree, procese, trate, venda o importe productos asume la responsabilidad ampliada del productor.

14 http://www.oecd.org/document/19/0,3746,en_2649_34281_35158227_1_1_1_1,00.html.

108. En la Unión Europea, por ejemplo, las lámparas fluorescentes, incluidas las compactas, son uno de los productos sujetos a los requisitos de la Directiva sobre equipo eléctrico y electrónico de desecho. Según esta Directiva, el productor asume la responsabilidad del manejo de determinados productos que contienen, entre otras cosas, mercurio al final de su vida útil. Otros ejemplos de programas de devolución son el programa de responsabilidad ampliada de los productores por los acumuladores en la EU, por las lámparas fluorescentes y las baterías en la República de Corea[15].

F. Manipulación, separación, recogida, empaque, etiquetado, transporte and almacenamiento

109. Los procedimientos de manipulación, separación, recogida, empaque, etiquetado, transporte y almacenamiento mientras no se eliminen los desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contienen mercurio o estén contaminados con él son parecidos a los establecidos para otros desechos peligrosos. El mercurio tiene algunas propiedades físicas y químicas que requieren otras precauciones y otras técnicas de manipulación pero, en su forma elemental, no es difícil reconocerlo. Además, las técnicas más perfeccionadas de medición exacta en la práctica y en los laboratorios, cuando se dispone de ellas, pueden hacer que la detección y la vigilancia de los derrames se realicen de manera relativamente clara y concisa.

110. En la presente sección se imparte orientación concreta acerca de la manipulación de desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contienen mercurio o estén contaminados con él, pero es una necesidad imperiosa que los generadores de esos desechos consulten los requisitos específicos establecidos por las autoridades nacionales y locales y los cumplan al pie de la letra. En relación con el transporte y el movimiento transfronterizo de desechos peligrosos, se deberán consultar los documentos siguientes para determinar los requisitos específicos:

a) Convenio de Basilea: Manual para la aplicación del Convenio de Basilea (SCB 1995a);

b) Organización Marítima Internacional (OMI): Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas (OMI 2002);

c) Organización de Aviación Civil Internacional (OACI): Instrucciones técnicas para el transporte sin riesgos de mercancías peligrosas por vía aérea (OACI 2001);

d) Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA): Reglamentación de Mercancías Peligrosas (IATA 2007); y

e) CEPE: Recomendaciones de las Naciones Unidas sobre el Transporte de Mercancías Peligrosas, Reglamento Modelo (CEPE 2007).

1. Manipulación

111. Los encargados de manipular desechos consistentes en mercurio elemental deberán prestar atención especial a la prevención de la evaporación y del derrame de mercurio elemental en el medio ambiente. Esos desechos deberán colocarse en un contenedor hermético a los gases y estanco que lleve un distintivo que indique que el mercurio elemental que contiene es “tóxico”.

112. Los usuarios finales deberán manipularlo de manera segura e impedir rotura o daños a los productos con mercurio añadido como lámparas fluorescentes, termómetros, dispositivos eléctricos y electrónicos, etc. Los productos con mercurio añadido de desecho, como pinturas y plaguicidas, se manipularán de manera segura y no se deberán descargar en fregaderos, inodoros, drenajes pluviales u otros sistemas de captación del agua de lluvia. Estos desechos no deberán mezclarse con otros desechos. Si esos desechos se rompen o derraman por accidente, se deberá aplicar el procedimiento de limpieza (véase la sección III, L infra).

113. Los encargados de manipular desechos contaminados con mercurio no deberán mezclarlos con otros desechos. Esos desechos se colocarán en un contenedor para impedir su liberación al medio ambiente.

a) Reducción de la descarga de residuos de la amalgama dental

114. Para reducir la descarga de mercurio contenido en los desechos dentales, el Organismo de Protección Ambiental de los Estados Unidos recomienda las prácticas ambientales responsables (Environmentally Responsible Practices)[16]. Las estrategias para el manejo adecuado de la amalgama son las siguientes:

15 Esta información se puede consultar http://eng.me.go.kr/content.do?method=moveContent&menuCode=pol_rec_pol_rec_sys_responsibility.

16 http://www.epa.gov/hg/pdfs/dental-module.pdf.

a) Eliminar los residuos de amalgama en una bolsa gris. No eliminar jamás los residuos de amalgama dental en bolsas médicas rojas ni en los contenedores de basura del gabinete dental;

b) Seleccionar a una persona que se encargue de reciclar la amalgama dental, quien lo hará en condiciones seguras para limitar la cantidad de mercurio que pueda regresar al medio ambiente;

c) Instalar un separador de amalgama para captar hasta el 95% del mercurio que sale por los desagües del gabinete dental[17]; y

d) Educar y formar al personal acerca del manejo adecuado de la amalgama dental en el consultorio de ortodoncia.

2. Separación

115. La separación y recogida de desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contienen mercurio o están contaminados con él son factores fundamentales en el manejo ambientalmente racional porque, si esos desechos son eliminados simplemente como desechos sólidos urbanos sin separarlos de ningún modo, el contenido de mercurio en los desechos puede ser liberado al medio ambiente a causa del vertimiento o la incineración. Los desechos que contienen mercurio o están contaminados con este se deberán separar de los demás desechos sin que se produzca rotura o contaminación. Se recomienda recogerlos separados de la basura de los hogares y de otros generadores de desechos, como son las empresas, los gobiernos, las escuelas y otras organizaciones, debido a la diferencia que existe entre la cantidad de desechos que genera cada uno de estos dos sectores.

116. Al ejecutar programas de recogida de desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contienen mercurio o estén contaminados con él, en particular en el caso de productos con mercurio añadido de desecho, se deberán tomar en consideración los siguientes aspectos:

a) Dar a conocer el programa, los lugares de depósito y el calendario de recogida a todos los posibles poseedores de esos desechos;

b) Dar tiempo suficiente para que los programas de recogida completen la recogida de todos esos desechos;

c) Incluir en el programa, siempre y cuando sea práctica, la recogida de todos esos desechos;

d) Poner a la disposición de los poseedores de los desechos que requieran reempaque o aplicación de medidas de seguridad para el transporte los contenedores aprobados y materiales para el transporte seguro;

e) Establecer mecanismos de recogida simples y de bajo costo;

f) Velar por la seguridad tanto de los que llevan esos desechos a los depósitos como de los trabajadores de esos depósitos;

g) Asegurarse de que los operadores de los depósitos estén utilizando el método de eliminación aceptado;

h) Velar por que el programa y las instalaciones cumplan todos los requisitos legislativos aplicables; y

i) Cerciorarse de que esos desechos queden separados de las demás corrientes de desechos.

117. El etiquetado de productos que contienen mercurio puede contribuir a asegurar la debida separación y, en consecuencia, la eliminación ambientalmente racional de productos con mercurio añadido al final de su vida útil. El productor deberá establecer un sistema de etiquetado durante el proceso de fabricación que ayude a los programas de recogida/reciclado a identificar los productos que contienen mercurio y necesitan manipulación especial[18]. El etiquetado tendrá que cumplir el reglamento nacional de notificación del derecho a conocer la presencia, la identidad y las propiedades de una sustancia tóxica en los productos. Lo más probable es que en la etiqueta haya que especificar las condiciones precisas de funcionamiento y cuidado durante el uso. Tal vez se incluyan

17 Esto es parte también de la Ordenanza alemana sobre los requisitos para la descarga de las aguas residuales de 17 de junio de 2004 (AbwV), (véase la página 106 en http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/wastewater_ordinance.pdf).

18 A modo de ejemplo, se pueden consultar directrices en http://www.newmoa.org/prevention/mercury/imerc/labelinginfo.cfm.

instrucciones sobre manipulación hasta el final de la vida útil que alienten el reciclado y prevengan la eliminación indebida.

118. En el sistema de etiquetado de un "producto con mercurio añadido" se podrían lograr los objetivos siguientes[19]:

a) Informar a los consumidores en el lugar de adquisición que el producto contiene mercurio y posiblemente exija una manipulación especial al final de su vida útil;

b) Identificar los productos en el lugar de eliminación para que queden separados de la corriente de desechos destinada a vertederos o a la incineración y así poder reciclarlos;

c) Informar a los consumidores que un producto contiene mercurio, para que tengan información que les ayude a procurar alternativas menos perjudiciales; y

d) Notificar el derecho a conocer sobre una sustancia tóxica.

119. Los fabricantes pueden indicar que los productos contienen mercurio imprimiendo en ellos el símbolo químico internacional del mercurio, "Hg". Por ejemplo, en los Estados Unidos es obligatorio que los productos con mercurio añadido lleven este símbolo: Hg. En la Unión Europea, por ejemplo, el símbolo químico "Hg" es obligatorio que figure impreso en las baterías que contienen mercurio según la Directiva 2006/66/CE. El uso de un emblema parecido en las etiquetas de las cajas de lámparas que son objeto de comercio internacional podría promover el reconocimiento general de que la lámpara contiene mercurio. Se podría incluir más información en los idiomas vernáculos correspondientes para explicar el uso del símbolo Hg.

120. En los Estados Unidos, la sección de lámparas ("bombillas") de la Asociación Nacional de Fabricantes de Artículos Eléctricos (NEMA) insiste en que un criterio nacional o internacional armonizado en relación con el etiquetado de las lámparas que contienen mercurio es un componente esencial de una distribución eficaz y económica de lámparas de alto rendimiento[20]. El 18 de junio de 2010, la Comisión Federal de Comercio de los Estados Unidos promulgó una norma en la que se exige que, a partir de enero de 2012, en el empaque de lámparas fluorescentes compactas, lámparas de diodos emisores de luz (LED) y lámparas incandescentes tradicionales, se deben pegar nuevas etiquetas que ayuden a los consumidores a seleccionar las lámparas de mayor rendimiento para sus necesidades de iluminación. En el caso de lámparas con mercurio añadido, tanto en las etiquetas como en las propias lámparas se incluirá el siguiente aviso[21]:

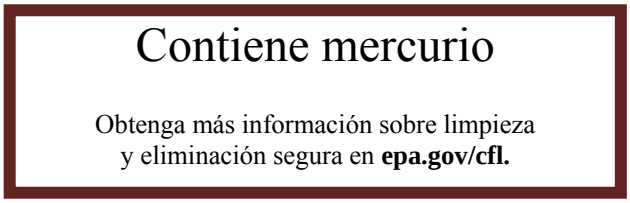

Figura -4 Ejemplo de etiquetado de un producto (lámpara fluorescente)

121. Cuando se exportan productos con mercurio añadido a otros países donde esos productos se convierten en desechos, existe la posibilidad de que los consumidores, los usuarios y otros interesados directos locales no puedan leer la etiqueta de esos productos en un idioma extranjero. En este caso, los importadores, los exportadores, los fabricantes u otros organismos nacionales encargados del etiquetado del producto deberán utilizar el idioma apropiado o el idioma vernáculo.

19 A modo de ejemplo, se pueden consultar las directrices sobre esos cuatro aspectos en http://www.newmoa.org/prevention/mercury/imerc/ labelinginfo.cfm (NEWMOA 2004).

Según la Ley de promoción de la utilización efectiva de los recursos en el Japón, los fabricantes e importadores deben incluir una etiqueta que lleve el símbolo J-Moss (http://210.254.215.73/jeita_eps/200512jmoss/orange.jpg), si alguno de los productos (computadoras personales, equipos de aire acondicionado, televisores, refrigeradores, lavadoras, microondas y secadoras) contiene plomo, mercurio, cadmio, cromo hexavalente, bifenilos polibromados (PBB) o éteres de difenilo polibromado (PBDE).

20 http://www.nema.org/gov/env_conscious_design/lamps/upload/Labeling%20White%20Paper%20Final%2010%2004-2.pdf y http://www.nef.org.uk/energysaving/lowenergylighting.htm.

21 http://www.ftc.gov/os/2010/06/100618lightbulbs.pdf, última consulta el 29 de mayo de 2011. La información sobre el reciclado y demás se puede consultar en: http://www.epa.gov/cfl/cflrecycling.html.

3. Recogida

a) Recogida de desechos consistentes en mercurio elemental

122. Los desechos consistentes en mercurio elemental (por ejemplo, tras el cierre de una planta de cloroálcalis) suelen ser diferentes de otros desechos de mercurio en volumen y en los riesgos que plantean, si no son manipulados como es debido. El mercurio elemental a granel debe ser cuidadosamente empacado en contenedores adecuados antes de su envío a las instalaciones de almacenamiento o evacuación designadas[22].

b) Recogida de desechos que contienen mercurio

123. Son tres las opciones para la recogida de desechos que contienen mercurio como las lámparas fluorescentes, las pilas, los termómetros y los dispositivos electrónicos domésticos que contienen mercurio (las baterías de mercurio se pueden recoger junto con otros tipos de baterías); esas opciones se examinan en las tres secciones que siguen.

a. Puntos de recogida o de entrega de desechos

124. Los desechos que contienen mercurio se deberán descartar solo en contenedores diseñados especialmente en el punto de recogida o depósito para esos desechos a fin de evitar que se mezclen desechos de otro tipo. Los desechos que contienen mercurio deberán ser recogidos exclusivamente por operadores autorizados por los gobiernos o las autoridades pertinentes del lugar.

125. Se deberá poner a disposición del público cajas o contenedores para los desechos que contienen mercurio en los puntos de recogida de desechos existentes. Se deberán utilizar exclusivamente para los desechos que contienen mercurio, como lámparas fluorescentes, termómetros de mercurio y pilas con mercurio contenedores de color que indiquen que son para desechos. Los contenedores designados deberán ser todos del mismo color o llevar el mismo logotipo para facilitar la educación del público y aumentar su participación. Se deberá evitar la rotura de lámparas fluorescentes y termómetros, entre otras cosas, mediante el diseño adecuado de las cajas e información por escrito sobre los procedimientos de recogida. Se deberán utilizar contenedores diferentes para las bombillas y las lámparas fluorescentes compactas. En el caso de las lámparas fluorescentes compactas, es importante minimizar la "caída libre" de la lámpara instalando deflectores o rebordes blandos en cascada. Otra posibilidad es que en una pequeña caja abierta se podría "invitar" a los usuarios a colocar con cuidado sus bombillas gastadas sin romperlas. En caso de que alguna se rompa, se ventilará inmediatamente la zona y se informará al personal de antemano para que se apliquen los procedimientos de limpieza[23].

b. Recogida en lugares públicos o puestos de venta

126. Los desechos que contienen mercurio, en particular las lámparas fluorescentes usadas, los termostatos, las pilas de mercurio y los termómetros podrán ser recogidos en vehículos de recogida diseñados especialmente o depositados en lugares públicos o en puestos de venta, por ejemplo, en ayuntamientos, bibliotecas, otros edificios públicos, tiendas de artículos electrónicos, galerías de tiendas y otros lugares de venta al detalle, siempre y cuando se coloquen contenedores apropiados para la recogida. Se deberán designar cajas o contenedores para la recogida de esos desechos que se ajusten a sus características y reduzcan al mínimo las roturas. En los lugares públicos donde se depositarán solo deberán utilizarse contenedores destinados específicamente para este fin y que hayan demostrado su capacidad para contener los vapores de mercurio de las lámparas rotas[24]. Los consumidores deberán poder llevar las lámparas fluorescentes usadas, las pilas de mercurio, los termostatos y los termómetros de mercurio a esos lugares sin costo alguno. Los operadores autorizados para la recogida, que serán empresas municipales o del sector privado (por ejemplo centros encargados por los fabricantes de esos productos), deberán depositar los desechos en cajas o contenedores de recogida de desechos.

---

22 El Departamento de Energía de los Estados Unidos imparte orientación pormenorizada sobre la manipulación y el almacenamiento de mercurio elemental en condiciones de seguridad en la siguiente dirección: http://mercurystorageeis.com/Elementalmercurystorage%20Interim%20Guidance%20(dated%202009-11-13).pdf y: http://mercurystorageeis.com/Volume%201-Final%20Mercury%20Storage%20EIS.pdf.

23 Sobre la limpieza de lámparas fluorescentes compactas rotas, remítase a EPA de los Estados Unidos: http://www.epa.gov/cfl/cflcleanup.html; *Shedding Light on Mercury Risks from CFL Breakage*, en relación con el Proyecto normativo sobre el mercurio, febrero de 2008, visite: http://mpp.cclearn.org/wp-content/uploads/2008/08/final_shedding_light_all.pdf, Organismo Alemán de Protección del Medio Ambiente, visite: http.//umweltbundesamt.de/energie/licht/hgf.htm (en alemán).

24 Consulte: Glenz, T. G., Brosseau, L.M., Hoffbeck, R.W. (2009).

127. Las cajas o los contenedores para los desechos que contienen mercurio se deberán inspeccionar para evitar que se depositen otros desechos en ellos. Las cajas o los contenedores deberán llevar una etiqueta y colocarse dentro de edificios, como los de instituciones públicas, escuelas y comercios, para que se puedan inspeccionar en un lugar bien ventilado o, por ejemplo, fuera del edificio en un espacio protegido y cubierto.

c. Recogida en los hogares por los recolectores

128. Los operadores autorizados podrán recoger determinados desechos, como los desechos electrónicos, en los hogares. Para asegurar la eficacia de la recogida de desechos que contienen mercurio, hará falta establecer una medida o un mecanismo legal que ampare a los operadores locales encargados de recogerlos; por ejemplo, los gobiernos, los fabricantes de productos con mercurio añadido u otros organismos tendrán que establecer acuerdos para que los operadores locales recojan los desechos que contienen mercurio.

d. Programa de recuperación mediante entregas

129. Los programas de recuperación mediante entregas pueden ser diversos programas establecidos para desviar los productos de la corriente de desechos con miras a reciclarlos, reutilizarlos, repararlos o, en algunos casos, recuperarlos. Los programas de recuperación mediante entregas suelen ser actividades voluntarias llevadas a cabo por el sector privado (por ejemplo, fabricantes y, en algunos casos, comerciantes al detalle) que dan la oportunidad a los consumidores de devolver los productos utilizados en el lugar donde los adquirieron o en otro lugar específico. Algunos programas de recuperación mediante entregas ofrecen incentivos financieros a los consumidores, otros pueden ser obligatorios o estar controlados por los gobiernos (por ejemplo, depósito de botellas), y otros además pueden financiar parcialmente las actividades de eliminación y reciclado. Por regla general, los programas de recuperación mediante entregas se centran en productos de consumo de uso más general (Honda 2005), como pilas, conmutadores, termostatos, lámparas fluorescentes y otros productos con mercurio añadido.

130. En el Japón, los productores recogen y reciclan lámparas fluorescentes usadas mediante sistemas de leasing para los establecimientos comerciales con arreglo al Servicio Akari Anshin (Panasonic 2009) y el paquete de servicios de Hitachi Lighting (Hitachi 2006).

c) Recogida de desechos contaminados con mercurio

131. Las plantas de tratamiento de las aguas cloacales y los incineradores de desechos por regla general se diseñan de manera que incluya el equipo de captación de fangos cloacales, cenizas y residuos que pudieran contener trazas de mercurio y de otros metales pesados. Si las concentraciones de mercurio en esos desechos rebasa los criterios establecidos para los desechos peligrosos, esos desechos se recogerán por separado.

4. Empaque y etiquetado

132. Para el transporte de desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contengan mercurio o estén contaminados con él de los locales de los generadores o en los puntos de recogida pública hasta las plantas de tratamiento de desechos, habrá que empacar y etiquetar debidamente esos desechos. El empaque y el etiquetado para el transporte suelen estar sujetos a controles establecidos en la legislación nacional sobre transporte de desechos peligrosos o mercancías peligrosas, que se deben consultar primero. Si las instrucciones no son suficientes o no existen, se deberán consultar los materiales publicados por los gobiernos nacionales, la IATA, la OMI y la CEPE. Se han elaborado normas internacionales para etiquetar e identificar debidamente los desechos. Los materiales de consulta que se indican a continuación son útiles:

a) CEPE (2003): Sistema Mundialmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos;

b) OCDE (2001b): Sistema armonizado integrado de clasificación de peligros ambientales y para la salud humana de sustancias y mezclas químicas..

5. Transporte

133. Los desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contengan mercurio o estén contaminados con él deberán ser transportados de manera ambientalmente racional a fin de evitar derrames accidentales y llevar el debido control de su transporte y destino final. Antes del transporte, se deberán preparar planes de emergencia para reducir al mínimo los efectos ambientales derivados de derrames, incendios y otras situaciones de emergencia que puedan ocurrir. Durante el transporte, se deberán seleccionar, empacar y transportar esos desechos de conformidad con las “Recomendaciones de las Naciones Unidas sobre el Transporte de Mercancías Peligrosas: Reglamento Modelo (Libro

Naranja)". Las personas que transporten esos desechos deberán tener la debida preparación y certificación como transportadores de materiales y desechos peligrosos..

134. Las empresas que transportan desechos dentro de sus propios países deberán tener certificación como transportadores de materiales y desechos peligrosos y contar con personal calificado. Los transportadores deberán manipular los desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contengan mercurio o estén contaminados con él de manera tal que impida roturas, liberaciones de sus componentes al medio ambiente y exposición a la humedad.

135. Se puede solicitar orientación sobre el transporte de materiales peligrosos en condiciones seguras a la IATA, la OMI, la CEPE y la OACI.

6. Almacenamiento

a) Almacenamiento de desechos que contienen mercurio por los generadores de desechos hasta su recogida

136. El almacenamiento por los generadores de desechos hasta su recogida significa que los desechos que contienen mercurio serán almacenados temporalmente en el local de los generadores de desechos hasta que sean recogidos para su evacuación. Los desechos que contienen mercurio se deberán almacenar en condiciones de seguridad y se mantendrán aparte de los demás desechos hasta que sean llevados a los puntos o instalaciones de recogida o hasta que sean recogidos por los programas de devolución o los contratistas. Los generadores de desechos deberán almacenarlos por un tiempo limitado, como establecen las normas nacionales, y, en todo caso, enviarlos para su debida evacuación fuera del lugar tan pronto sea viable.

137. Los desechos domésticos que contengan mercurio, principalmente lámparas fluorescentes, otras lámparas, pilas que contienen mercurio y termómetros de mercurio, deberán ser almacenados temporalmente después de ser debidamente empacados, por ejemplo, utilizando nuevos productos para empacar o cajas que se ajusten a la forma de los desechos. Todo mercurio derramado de dispositivos que se rompan durante la manipulación deberá limpiarse y todo material de limpieza deberá ser mantenido en exteriores hasta que sean recogidos para su tratamiento ulterior[25]. Los desechos líquidos que contienen mercurio, como pinturas y plaguicidas, deberán mantenerse en los contenedores originales y la tapa deberá cerrarse herméticamente. No se deberán colocar contenedores y empaques donde se guarden desechos que contienen mercurio junto a otros desechos; se deberán marcar y almacenar en un lugar seco, como un almacén u otro local que no sea frecuentado por personas.

138. Además de la orientación impartida en los dos párrafos precedentes, los usuarios en gran escala, como son los gobiernos, las empresas y las escuelas tendrán también que elaborar un plan para almacenar grandes cantidades de desechos que contienen mercurio. Cuando no se disponga de cajas o envases originales, se deberán adquirir contenedores que estén diseñados especialmente para almacenar desechos que contienen mercurio (por ejemplo, contenedores para lámparas fluorescentes). Los contenedores o las cajas para almacenar desechos que contienen mercurio se marcarán y fecharán para ser almacenados en un lugar seco dentro de un edificio. Es mejor usar un pequeño local para almacenar esos desechos. En la guía preparada por el FMAM en relación con los desechos de mercurio generados por las instalaciones de salud[26] se especifican detalles al respecto; esta guía puede aplicarse en muchos centros comerciales que generan dispositivos desechados que contienen mercurio.

b) Almacenamiento de desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contengan mercurio o estén contaminados con él hasta que se realicen las operaciones de evacuación

139. La presente sección abarca el almacenamiento de desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contengan mercurio o estén contaminados con él tras la recogida antes de la eliminación, como se especifica en el párrafo 148. Se deberán cumplir los requisitos técnicos relativos al almacenamiento de desechos peligrosos, incluidas las normas y los reglamentos tanto nacionales como internacionales. Deberá evitarse el riesgo de contaminación de otros materiales.

25 Estos materiales deben mantenerse en exteriores porque muchos contenedores de uso común, como las bolsas plásticas, son permeables a los vapores de mercurio. Véase, Maine DEP (2008).

26 Guía para la limpieza, almacenamiento temporal o intermedio y transporte de desechos de mercurio desde las instalaciones de salud. http://gefmedwaste.org/downloads/Guia%20sobre%20Limpieza,%20Almacenamiento%20y%20Transporte%20de%20Mercurio%20desde%20la%20Asistencia%20Medica%20.pdf.

a. Consideraciones técnicas y operacionales relacionadas con las instalaciones de almacenamiento

140. En lo relativo al emplazamiento y el diseño, las instalaciones de almacenamiento no deberán construirse en lugares precarios como llanuras inundables, marismas, aguas subterráneas, zonas sísmicas, terrenos kársticos, terrenos poco firmes o lugares con condiciones climáticas desfavorables y uso incompatible de la tierra, a fin de evitar todo riesgo importante de emisión del mercurio y la posible exposición de los seres humanos y el medio ambiente. Los espacios de almacenamiento deberán diseñarse de manera tal que no se produzcan reacciones químicas o físicas innecesarias al mercurio. Los pisos de las instalaciones de almacenamiento deberán cubrirse con materiales resistentes al mercurio. Los locales de almacenamiento deberán tener instalados sistemas de alarma contra incendios y sistemas de extinción de incendios y contar con entornos de presión negativa para evitar que las emisiones de mercurio salgan del recinto. Las cámaras de almacenamiento deberán mantener la temperatura más baja que sea posible, preferiblemente a una temperatura constante de 21 ºC. Las salas de almacenamiento de desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contengan mercurio o estén contaminados con él deberán marcarse claramente con señales de advertencia (FAO 1985; EPA de los Estados Unidos 1997b; SCB 2006; Departamento de Energía de los Estados Unidos 2009).

141. En lo que respecta al funcionamiento, las instalaciones de almacenamiento deberán permanecer cerradas para evitar robos o el acceso no autorizado. El acceso a los desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contengan mercurio o estén contaminados con él deberá quedar restringido a las personas que han recibido la debida capacitación para esos fines, que incluye reconocimiento, peligros que entraña el mercurio y manipulación. Se recomienda que los edificios donde se almacenan todos los tipos de desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contengan mercurio o estén contaminados con él no se utilicen para almacenar otros materiales y desechos líquidos. En el lugar donde se han almacenado se deberá crear y actualizar un inventario completo de los desechos a medida que se incorporen desechos o se vayan eliminando. Se deberán inspeccionar periódicamente los lugares de almacenamiento para detectar, en particular, daños, derrames y deterioro. Se deben llevar a cabo labores de limpieza y descontaminación con toda rapidez, no sin antes alertar a las autoridades pertinentes (FAO 1985; EPA de los Estados Unidos 1997b).

142. En lo que respecta a la seguridad de las instalaciones, se deberán elaborar procedimiento específicos de cada lugar para aplicar los requisitos de seguridad establecidos para el almacenamiento de desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contengan mercurio o estén contaminados con él. Se deberá contar con un plan de emergencia viable, que tenga preferiblemente varios procedimientos y se aplique inmediatamente en caso de derrame accidental y otras emergencias. Tiene importancia primordial la protección de la vida humana y el medio ambiente. En caso de emergencia, debe haber una persona encargada de autorizar modificaciones a los procedimientos de seguridad, cuando sea necesario, a fin de que el personal de respuesta en casos de emergencia pueda actuar. Se deberá garantizar un lugar adecuado para emplazar la seguridad y el acceso al lugar (Oficina de Gestión del Medio Ambiente, República de Filipinas 1997; SCB 2006; Departamento de Energía de los EE.UU., 2009).

b. Consideraciones especiales relacionadas con los desechos consistentes en mercurio elemental

143. Todos los contenedores deberán diseñarse exclusivamente para desechos consistentes en mercurio elemental. Los contenedores deberán cumplir los siguientes requisitos: 1) no haber sufrido daños previos debido a otros materiales que haya contenido y que esos materiales no reaccionen con el mercurio; 2) no presentar daños en su estructura; 3) no presentar corrosión excesiva; y 4) tener aplicada una capa protectora (pintura) para prevenir la corrosión. El material apropiado para los contenedores de mercurio es el acero al carbón o el acero inoxidable que no reaccionan con el mercurio a temperatura ambiente. No habrá que aplicar ninguna capa protectora en la superficie interior siempre que el mercurio cumpla los requisitos de pureza ni haya agua dentro del contenedor. La capa protectora (por ejemplo, pintura epoxídica y galvanoplastia) se deberá aplicar a todas las superficies exteriores de acero al carbono de manera que no quede acero alguno expuesto. La capa se aplicará de manera de reducir al mínimo la formación de vejigas por el calor, las desconchaduras o las grietas en la pintura. En cada contenedor se pegará una etiqueta, que incluirá nombre del proveedor, origen, número del contenedor, peso en bruto, fecha en que el mercurio fue inyectado y materiales corrosivos (Departamento de Energía de los EE.UU., 2009). Además, en la etiqueta se indicará si el contenedor cumple requisitos técnicos específicos (hermeticidad, estabilidad a la presión, resistencia a los choques, comportamiento al ser expuesto al calor).

144. Los contenedores de desechos consistentes en mercurio elemental deberán colocarse en posición vertical en plataformas separadas del suelo, cuando hay exceso de contenedores. El pasillo

de los locales de almacenamiento deben tener suficiente amplitud para que puedan pasar los equipos de inspección, la maquinaria de carga y el equipo de emergencia. El piso deberá cubrir con una capa de material epoxídico. Las condiciones del piso y la capa deberán inspeccionarse con frecuencia para garantizar que el piso no tenga grietas y la capa se mantenga intacta. El piso del almacén no deberá tener ningún canal de desagüe ni instalaciones de tuberías, aunque se podrán utilizar pisos inclinados para ayudar a recoger los derrames. Al seleccionar los materiales con los que se construirán las paredes, se deberá optar por materiales que no absorban fácilmente los vapores de mercurio. Es importante que haya sistemas adicionales para impedir liberaciones en caso de que ocurra algún imprevisto. (Departamento de Energía de los EE.UU., 2009; Consejo Mundial del Cloro, 2004).

145. Cuando se almacenen desechos consistentes en mercurio elemental, este deberá ser de la mayor pureza posible para evitar toda reacción química y la degradación de los contenedores. Se recomienda un contenido de mercurio superior al 99,9% del peso. Véase la información sobre las técnicas de purificación en la sección III, G, 1, f *infra*.

c. Consideraciones especiales en relación con los desechos contaminados con mercurio

146. Los desechos líquidos deberán colocarse en bandejas de contención o en un espacio curvo y estanco. El volumen de líquido contenido deberá ser al menos 125% del volumen de los desechos líquidos, teniendo en cuenta el espacio que ocupan los productos almacenados en el espacio de contención.

147. Los desechos sólidos se deberán almacenar en contenedores herméticos como barriles o baldes, contenedores de acero para desechos o en contenedores de construcción especial que no liberan vapores de mercurio.

G. Eliminación ambientalmente racional

148. Las siguientes operaciones de eliminación, previstas en los anexos IV A y IV B del Convenio de Basilea, deberán facilitar el manejo ambientalmente racional de desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contengan mercurio o estén contaminados con él[27]:

R4 Reciclado/recuperación de metales y compuestos metálicos;

R5 Reciclado o recuperación de otras materias inorgánicas;

R8 Recuperación de componentes provenientes de los catalizadores;

R12 Intercambio de desechos[28] para someterlos a las operaciones R4, R5, R8 o R13;

R13 Acumulación de materiales destinados a las operaciones R4, R5, R8 o R12;

D5 Vertederos controlados;

D9 Tratamiento fisicoquímico;

D12 Almacenamiento permanente;

D13 Combinación o mezcla[29] antes de someterlos a D5, D9, D12, D14 o D15;

D14 Reempaque antes de someterlos a D5, D9, D12, D13 o D15; y

D15 Almacenamiento hasta que se realice alguna de las operaciones previstas en D5, D9, D12, D13 o D14.

149. Además, se podrá permitir también una forma de rellenamiento en instalaciones subterráneas, según la cual los desechos se utilizan con fines de seguridad en las minas aprovechando las propiedades estructurales respectivas de los desechos[30]. En Alemania, por ejemplo, ese procedimiento se regula en la Ordenanza sobre almacenamiento subterráneo de desechos (http://www.bmu.de/3239) que establece requisitos que son equivalentes a la Directiva Europea sobre vertederos y está sujeto a procedimientos especiales de concesión de licencias y supervisión.

27 La información sobre el almacenamiento hasta tanto se realicen las operaciones de eliminación (operaciones R13 y D15) figuran en la sección III, F, 6.

28 Se entiende por intercambio de desechos las operaciones que incluyen el tratamiento previo, a menos que pueda aplicarse otro código R.

29 Ejemplos de ello son el procesamiento previo, como clasificación, trituración, desecación, fragmentación, acondicionamiento o separación.

30 Ese relleno con sulfuro mercúrico resultante de la estabilización de los desechos consistentes en mercurio elemental solo es posible actualmente en Alemania.

150. En los casos en que se lleven a cabo los procesos descritos en la sección III, G, 1 y el mercurio sea destinado posteriormente a una operación D5 o D12, las operaciones descritas en esa sección se clasificarían como operaciones D13 y D9. Por otra parte, en caso de que se lleve a cabo un proceso descrito en la sección III, G, 2 (por ejemplo, estabilización) y los desechos sean enviados para una operación R, dicho proceso se clasificaría también como operación R. Posiblemente este no sea el caso en todos los países.

1. Operaciones de recuperación

151. La recuperación del mercurio a partir de los desechos sólidos por regla general abarca cuatro procesos: 1) tratamiento previo, 2) tratamiento térmico, 3) desorción térmica y 4) purificación, como se muestra en la figura -5. A los efectos de reducir al mínimo las emisiones de mercurio durante el proceso de recuperación de mercurio, la instalación debe emplear un sistema cerrado. Todo el proceso debe tener lugar bajo presión reducida a fin de impedir fugas de vapores de mercurio hacia la zona donde se realiza el proceso (Tanel 1998). La poca cantidad de aire de escape que se utiliza en el proceso pasa por una serie de filtros de partículas y un lecho de carbón, que absorbe el mercurio antes de que se escape al medio ambiente.

152. Ejemplos de recuperación del mercurio son: el equipo con mercurio añadido descartado que fácilmente libera mercurio al medio ambiente cuando se rompe; y los desechos contaminados con una elevada concentración de mercurio. El primero incluye a las lámparas que contienen mercurio, los dispositivos de medición que contienen mercurio (termómetros, esfigmomanómetros y manómetros) y los interruptores y relés con mercurio. Entre los últimos figuran los fangos cloacales del tratamiento de las aguas residuales extraídos de los depuradores de gases por vía húmeda de los hornos de fundición de metales no ferrosos. En los Estados Unidos se ha establecido una norma específica para los desechos que son objeto de recuperación del mercurio; los desechos que tengan un contenido de mercurio total superior o igual a 260 mg/kg serán objeto de recuperación del mercurio según lo dispuesto en las Restricciones a la eliminación en tierra (véase: Código de Reglamentos Federales de los EE.UU.: 40 CFR 268.40).

153. Las Directrices técnicas sobre reciclado/recuperación ambientalmente racional de metales y compuestos metálicos (R4) del Convenio de Basilea se centran fundamentalmente en el reciclado y la recuperación ambientalmente racionales de los metales y los compuestos metálicos, incluido el mercurio incluidos en el anexo I del Convenio de Basilea como categorías de desechos que hay que controlar. Es posible reciclar desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contengan mercurio o estén contaminados con él, en particular el mercurio elemental, en instalaciones especiales que han hecho avanzar la tecnología de reciclado específica del mercurio. Cabe señalar que se deben emplear procedimientos apropiados en ese reciclado para prevenir cualquier liberación de mercurio al medio ambiente. Además, el mercurio reciclado se puede vender en el mercado internacional de productos básicos, donde se puede reutilizar. Por regla general, el grado de utilización permisible y la evaluación comercial en cuanto a su posible reutilización de manera rentable determina si se recupera o no el metal.

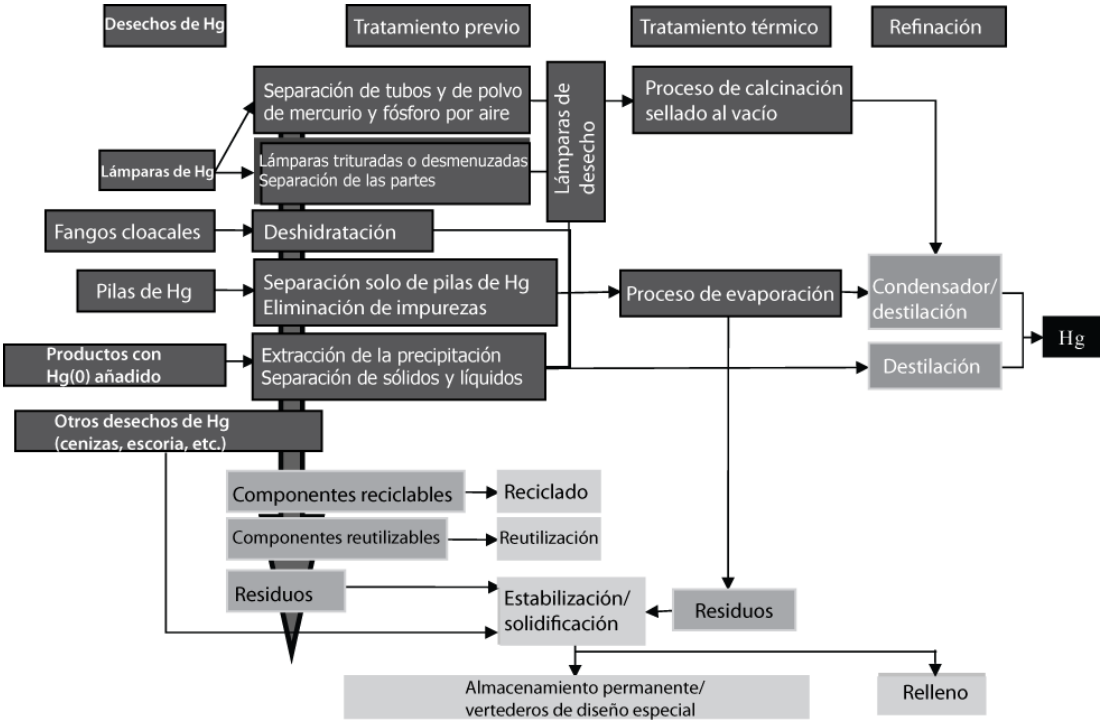

Figura-5 Diagrama de la recuperación del mercurio a partir de desechos sólidos (Nomura Kohsan Co. Ltd. 2007)

154. Por regla general, la recuperación del mercurio de los desechos líquidos se recupera mediante procesos de oxidación química, precipitación química o sorción y el consiguiente tratamiento. El mercurio se encuentra en las aguas residuales debido a la descarga accidental o intencional de mercurio líquido de los termómetros, las amalgamas dentales u otros procesos industriales que utilizan mercurio o compuestos de mercurio. Es posible encontrar mercurio en las aguas residuales de los dispositivos de control de la contaminación del aire de tipo húmedo y en los lixiviados de vertederos y depósitos donde se vierten o depositan desechos que contienen mercurio, como los termómetros. El mercurio existente en las aguas residuales no se debe descargar en el medio acuático donde ocurre la metilación del mercurio que al convertirse en metilmercurio se bioacumula y biomagnifica en la cadena alimenticia.

155. El tratamiento previo a la operación R4 (recuperación del mercurio) es una operación de la categoría R12, mientras que la calcinación, purificación, la oxidación química/precipitación y adsorción corresponden a operaciones de la categoría R4.

a) Tratamiento previo (intercambio de desechos antes de someterlos a las operaciones R4 o R13)

156. Antes de ser sometidos a tratamiento térmico, los desechos que contienen mercurio o están contaminados con este reciben un tratamiento a fin de aumentar la eficacia del tratamiento térmico; los procesos de tratamiento previo son la extracción de materiales que no contengan mercurio mediante trituración y separación por aire, deshidratación de los fangos cloacales y eliminación de las impurezas. Ejemplos de operaciones de tratamiento previo específicas de los desechos se resumen en el cuadro -4.

Cuadro -4 Ejemplos de operaciones de tratamiento previo por tipo de desecho

Tipo de desecho	Tratamiento previo
Lámparas fluorescentes	***Trituración mecánica*** Las lámparas que contienen residuos de mercurio se deberán procesar en una máquina que las triture y separe en tres categorías: vidrio, capacetes y mezcla de mercurio y fósforo en polvo. Esto se logra inyectando las lámparas en una cámara hermética de triturado y cribado. Terminado este proceso, la cámara extrae automáticamente los productos finales para eliminar la posibilidad de contaminación mutua. Los capacetes y el vidrio se deben extraer y enviar para su reutilización en la manufactura. Sin embargo, los pasadores metálicos de los capacetes se deberán eliminar y tratar por separado debido a que el contenido de mercurio puede ser considerable. La mezcla de mercurio y fósforo en polvo se podrá eliminar o procesar

Tipo de desecho	Tratamiento previo
	posteriormente para separar el mercurio del fósforo (Nomura Kohsan Co. Ltd. 2007). El vidrio triturado de las lámparas que contienen mercurio puede retener importantes cantidades de mercurio, y se deberá tratar térmicamente o de otra manera para eliminar el mercurio antes de ser enviado a reutilización (Jang 2005) o eliminación. Si este vidrio se envía para refundición como parte de su reutilización, la unidad de derretido deberá tener controles de la contaminación del aire destinados específicamente a captar el mercurio liberado (como la inyección de carbón activado). Un sistema colector de aire de escape de alta eficiencia deberá impedir la emisión de vapores de mercurio o de polvo durante todo el proceso. Se deberá extraer el polvo fluorescente y todo el mercurio de las lámparas trituradas en pozos vibratorios mediante vibración y agua. El polvo fluorescente arrastrado, que incluye el mercurio y partículas finas de vidrio, sedimento en dos etapas y el agua del proceso regresan para circular en el proceso de lavado (www.dela-recycling.com)
	Separación por aire Los capacetes de aluminio de las lámparas fluorescentes (tubos rectos, circulares y compactos) se cortan en quemadores de hidrógeno. Las corrientes de aire circulan por entre las lámparas fluorescentes desmenuzadas desde el fondo para extraer el polvo de mercurio y fósforo adsorbido en el vidrio (Jang 2005). El polvo de mercurio y fósforo va a un precipitador donde las partes de vidrio son trituradas y lavadas con ácido, proceso en el cual el polvo de mercurio y fósforo adsorbido en el vidrio se elimina del todo. Además, los capacetes son compactados y separados por vía magnética del aluminio, el hierro y los plásticos para ser reciclados (Kobelco Eco-Solutions Co. Ltd. 2001; Ogaki 2004).
Pilas que contienen mercurio	***Eliminación de impurezas*** Para reciclar el mercurio, antes del tratamiento y el reciclado, los acumuladores que contienen mercurio se recogerán y almacenarán por separado en contenedores adecuados. Cuando las pilas que contienen mercurio se recogen junto con los demás tipos de pilas o con residuos de equipo eléctrico y electrónico, se deberán separar de los demás tipos de pilas. Antes del tratamiento a base de calcinación, se deberán eliminar las impurezas mezcladas y adsorbidas con las pilas que contienen mercurio, preferiblemente por procesos mecánicos. Además, es necesario separar mecánicamente las pilas que contienen mercurio por tamaño para que el proceso de calcinación sea eficaz. (Nomura Kohsan Co. Ltd. 2007).
Fangos cloacales	***Deshidratación*** Los fangos cloacales tienen un alto contenido de agua (más del 95%). Por eso, los fangos contaminados con mercurio y destinados a la destrucción tienen que ser deshidratados hasta un 20 a 35% de sólidos antes de cualquier tratamiento térmico. Tras la deshidratación, los fangos cloacales se deberán tratar en un proceso de calcinación (Nomura Kohsan Co. Ltd. 2007; EPA de los EE.UU. 1997a)
Desechos que contienen mercurio elemental	***Extracción*** Cuando se recojan desechos que contienen mercurio elemental, como termómetros y barómetros, se deberá procurar que no se rompan. Tras la recogida de desechos que contengan mercurio líquido, se deberá extraer ese mercurio y destilarlo para su purificación bajo presión reducida.
Desechos que contienen mercurio adherido a los aparatos	***Desmontaje*** Algunos aparatos eléctricos suelen tener empotrados interruptores y relés eléctricos que son desechos que contienen mercurio. Por eso, esos desechos se deben extraer de los aparatos sin romper el vidrio exterior. Los monitores de computadoras y los televisores que utilizan la tecnología de visualizadores de cristal líquido (LCD) con pantalla plana contiene una o más pequeñas lámparas para la iluminación que suelen colocarse junto al borde exterior de la pantalla. Pese a que la nueva tecnología utiliza diodos emisores de luz (LED) para estas lámparas, la mayoría de las pantallas de LCD contienen lámparas fluorescentes de vapor de mercurio. Estas lámparas de mercurio pueden romperse durante la manipulación y el procesamiento mecanizado y liberarán entonces vapores

Tipo de desecho	Tratamiento previo
	de mercurio. Por esa razón, se deberán sacar manualmente con cuidado y no deberán ser objeto de procesamiento mecanizado como fragmentación, a menos que la fragmentadora cuente con el equipo de control de la contaminación necesario para realizar ese tipo de operaciones y se cuente con la licencia y los permisos para hacerlo, como en las plantas de tratamiento de mercurio. Para más información, véase la sección 7.3 de la Asociación para la acción en materia de equipos de computadoras del Convenio de Basilea: Directrices sobre la recuperación y el reciclado ambientalmente racional de materiales de equipos de computación al final de su vida útil (documento UNEP/CHW.10/INF/23). Puede obtener más información sobre la presencia de mercurio en la retroiluminación de los LCD (véase el informe de investigación del Programa de acción sobre recursos a partir de los desechos en: http://www.wrap.org.uk/recycling_industry/publications/flat_panel_display.html).

b) Reciclado/regeneración del mercurio y los compuestos de mercurio

a. Tratamiento térmico

157. Los desechos que contienen mercurio o están contaminados con él, como los fangos cloacales, los suelos contaminados u otros desechos de lugares contaminados se deben tratar mediante desorción térmica, en un equipo con tecnología de captación de vapores de mercurio para recuperar el mercurio (ITRC 1998; Chang y Yen 2006).

158. La desorción térmica es un proceso que utiliza intercambio de calor ya sea indirecto o directo para calentar los contaminantes orgánicos a una temperatura suficientemente alta para volatilizarlos y separarlos de una matriz sólida contaminada y posteriormente captarlos o destruirlos. En el caso del mercurio y sus compuestos, se recomienda la desorción térmica indirecta con captación de mercurio. Como medio de transferencia para los componentes vaporizados se utiliza aire, gas de combustión o gas inerte. Los sistemas de desorción térmica son procesos de separación física que transfieren los contaminantes de una fase a otra. Un sistema de desorción térmica tiene dos componentes principales; el desorbedor propiamente dicho y el sistema de tratamiento de los gases de salida[31].

159. Existen varios procesos de evaporación, a saber, la destilación en horno rotatorio, el procesamiento térmico al vacío y la mezcla seca al vacío.

160. La destilación en horno rotatorio sirve para extraer y recuperar el mercurio de desechos como, por ejemplo, fangos minerales industriales, fangos del movimiento natural del gas, carbones activados, catalizadores, pilas de botón o suelos contaminados por evaporación y reciclado de productos que no contienen mercurio (por ejemplo, vidrio, hierro y metales no ferrosos, zeolitas). En el proceso de tratamiento se eliminan todos los contaminantes o hidrocarbonos y el azufre.

161. Los desechos son alimentados uniformemente al horno rotatorio por una tolva mediante un sistema de dosificación. Los desechos que hay que tratar por destilación en el horno rotatorio deberán fluir y ser transportables. Los desechos son tratados por destilación en el horno rotatorio a temperaturas de hasta 800°C. Los materiales usados se mueven uniformemente por el horno rotatorio. El mercurio de los desechos se evapora calentándolo a temperaturas por encima de 356°C. El tiempo que los desechos tienen que permanecer en el horno rotatorio depende del material alimentado, aunque suele fluctuar entre media hora y hora y media. El tratamiento se lleva a cabo bajo presión para garantizar que el sistema funcione sin riesgos. De ser necesario, se añade nitrógeno para crear una atmósfera inerte en el horno rotatorio, lo que aumenta la seguridad. La corriente de aire de escapa fluye hacia dos depuradores de gases a través de un filtro de polvo de gas caliente en el que se condensan el mercurio, el agua y los hidrocarbonos. El gas de escape es alimentado entonces a un sistema de filtros de carbón activado para su limpieza final[32].

31 La primera unidad de desorción térmica en gran escala para el tratamiento de desechos que contienen mercurio fue construida para la rehabilitación de la planta química Marktredwitz (CFM) en Wölsau (Alemania). La planta comenzó a funcionar en octubre de 1993, e incluyó la primera etapa de optimización. Entre agosto de 1993 y junio de 1996 se trataron con éxito unas 50.000 toneladas de desechos sólidos contaminados por mercurio. Las unidades de desorción térmica se utilizaron también para descontaminar la vieja planta de cloroálcalis de Usti nad Labem en la República Checa y para descontaminar el suelo en Taipei (Chang y Yen 2006).

32 www.dela-recycling.com

162. Los desechos tratados previamente, como el polvo de mercurio y azufre de las lámparas fluorescentes, el vidrio de las lámparas trituradas, las pilas que contienen mercurio purificadas, los fangos cloacales deshidratados y el suelo cribado, pueden ser tratados en instalaciones de calcinación/ retorta, equipadas con una tecnología que capta los vapores de mercurio para recuperar esta sustancia. Sin embargo, cabe señalar que durante la calcinación y otros tratamientos térmicos se emiten metales volátiles, incluidos el mercurio y las sustancias orgánicas. Estas sustancias se trasladas desde los desechos alimentados a los gases de combustión y las cenizas volantes. Por eso se debe añadir esa tecnología a los dispositivos donde se tratan los gases de combustión (véase la sección III, H, I *infra*).

163. En una mezcladora en seco al vacío se puede llevar a cabo el tratamiento previo y ulterior de los fangos que contienen mercurio. La operación en una atmósfera al vacío disminuye la temperatura de ebullición lo que asegura un proceso que aprovecha la energía y funciona sin riesgos. Según el grado de vacío y la temperatura alcanzada durante el funcionamiento de la planta, la mezcladora se puede usar para el tratamiento previo o ulterior de los fangos. Se ha demostrado que un tratamiento en dos etapas en una mezcladora al vacío es un recurso conveniente cuando se tratan fangos que contienen mercurio con altos niveles de agua e hidrocarbonos. En la primera etapa del proceso, el agua y la mayor parte de los hidrocarbonos se evaporan. La evaporación cuantitativa del mercurio tiene lugar en la segunda etapa del proceso a la temperatura máxima de tratamiento. El mercurio se condensa separado del agua y los hidrocarbonos y se puede extraer durante el proceso. Se diseña una unidad al vacío con un doble blindaje, que se calienta de manera indirecta con aceite térmico, lo que permite una distribución uniforme del calor en el material tratado. Se puede lograr una distribución del calor aún más eficiente con un cilindro calentado. El gas de combustión generado por la mezcladora al vacío se depura en una unidad de condensación y un filtro de carbón activado. La mezcladora al vacío funciona por tandas (www.dela-recycling.com).

164. El procesamiento térmico al vacío permite el tratamiento de termómetros, pilas, especialmente las de botón, amalgama dental, conmutadores y rectificadores eléctricos, polvo fluorescente, tubos de escape, vidrio triturado, suciedad, fangos cloacales, residuos de la minería y material catalizador, entre otros. El proceso abarca, por regla general, las siguientes etapas:

a) Calentamiento del material alimentado en un horno especial o en una operación de carga para evaporar el mercurio contenido en los desechos a temperaturas entre 340°C y 650°C y presiones de pocos milibares;

b) Tratamiento térmico posterior del vapor que contiene mercurio a temperaturas que fluctúan entre 800°C y 1000°C, donde, por ejemplo, se pueden destruir los componentes orgánicos;

c) Captura y enfriamiento del vapor que contiene mercurio;

d) Destilación para generar mercurio líquido puro.

165. El residuo que queda al final del procesamiento térmico al vacío, en lo esencial, no contiene mercurio y se puede reciclar o eliminar de otra manera, según su composición[33].

b. Oxidación química

166. La oxidación química del mercurio elemental y de los compuestos orgánicos de mercurio tiene como finalidad destruir la materia orgánica y convertir el mercurio de manera que se formen sales de mercurio. Es eficaz para tratar los desechos líquidos que contienen mercurio o están contaminados con este. Los procesos de oxidación química son útiles en el caso de desechos acuosos que contienen mercurio o están contaminados con este, como líquidos residuales y colas. Los reactivos oxidantes utilizados en estos procesos son el hipoclorito de sodio, el ozono, el peróxido de hidrógeno y el cloro libre (gas). La oxidación química se puede llevar a cabo como proceso continuo o por tandas en tanques de mezcla o reactores de gasto tipo pistón. Los compuestos de haluro de mercurio que se forman en el proceso de oxidación son separados de la matriz de desechos, tratados y enviados para el siguiente tratamiento en la forma de lixiviación y precipitación de ácidos (EPA de los Estados Unidos 2007a).

c. Precipitación química

167. La precipitación utiliza sustancias químicas para transformar los contaminantes disueltos en un sólido insoluble. En la coprecipitación, el contaminante que se trata de separar puede estar en disuelto en forma de coloide o en suspensión. Los contaminantes disueltos no se precipitan, sino que son adsorbidos en otros especímenes que se precipitan. Los contaminantes coloidales o suspendidos se entremezclan con otros especímenes precipitados o son extraídos mediante procedimientos como la coagulación y la floculación. Los procedimientos para extraer el mercurio del agua pueden ser una

33 www.gmr-leipzig.de/gbverfahren.htm

combinación de precipitación y coprecipitación. El sólido precipitado/coprecipitado se extrae entonces de la fase líquida mediante clarificación o filtración. Para obtener información más detallada consulte el informe titulado "Treatment technologies for mercury in soil, waste, and water" (EPA de los Estados Unidos, 2007d).

d. Tratamiento por adsorción

168. Los materiales de adsorción mantienen el mercurio en la superficie mediante distintos tipos de fuerzas químicas, como enlaces de hidrógeno, interacciones dipolo-dipolo y las interacciones de van der Waals. La capacidad de adsorción se ve afectada por la extensión de la superficie, la distribución del tamaño de los poros y la química de superficie. Los materiales de adsorción suelen estar dispuestos en columna. El mercurio o los compuestos de mercurio son adsorbidos cuando los desechos líquidos pasan a través de la columna. La columna se debe regenerar o sustituir con nuevos medios cuando los espacios de adsorción se llenan (EPA de los Estados Unidos 2007b).

169. Ejemplos de materiales de adsorción son el carbón activado y la zeolita. El carbón activado es un material carbónico que tiene muchas aperturas finas interconectadas. Por regla general, puede tener una base de madera (cáscara de coco y serrín), aceite o carbón. Se puede clasificar, según la forma, en carbón activado pulverulento y carbón activado granular. En la red comercial se dispone de muchos productos, que ofrecen las características específicas de sus distintos materiales. El mercurio y otros metales pesados, así como las sustancias orgánicas se adsorben en el carbón activado (Bansal 2005). Las zeolitas son silicatos de origen natural que también se pueden producir sintéticamente. Las zeolitas y la clinoptilolita en particular tienen una gran afinidad con los iones de metales pesados, cuyo mecanismo de adsorción es el intercambio de iones (Chojnacki y otros, 2004). Las resinas que intercambian iones han demostrado su utilidad para eliminar el mercurio de las corrientes acuosas, en particular en concentraciones del orden de 1 a 10 µg/L. Las aplicaciones que utilizan intercambio de iones suelen tratar sales mercúricas, como los cloruros de mercurio, que se encuentran en las aguas residuales. Este procedimiento supone suspender un medio, ya sea resina sintética o mineral, en una solución en la que los iones de metal suspendidos se intercambian en el medio. La resina de intercambio de aniones se puede regenerar en soluciones de ácido muy ionizado, pero esto es difícil debido a que las sales de mercurio no están muy ionizadas y no se pueden limpiar fácilmente de la resina. Por eso habrá que desechar la resina. Además, los compuestos de mercurio orgánico no se ionizan, de manera que no se pueden extraer fácilmente utilizando el intercambio de iones convencional. Si se utiliza una resina de recolección, el proceso de adsorción suele ser irreversible y la resina deberá eliminarse como desecho peligroso en una instalación de eliminación que no conlleve la recuperación (Amuda 2010).

170. La resina quelante es una resina de intercambio de iones que fue creada como polímero funcional y que capta selectivamente iones de las soluciones, incluidos diversos iones metálicos, y los separa. Está hecha de un polímero base con una estructura de malla tridimensional y un grupo funcional quelador que combina iones metálicos. El material que más se utiliza como polímero base es el poliestireno, seguido del plástico fenólico y la resina epoxídica. Las resinas quelantes se utilizan para el tratamiento de las aguas residuales de la galvanoplastia para extraer el mercurio y otros metales pesados que quedan después de la neutralización y la coagulación de los sedimentos o para captar iones metálicos mediante su adsorción de aguas residuales cuya concentración de iones metálicos es relativamente baja. El tipo de resina quelante de la adsorción de mercurio puede realmente captar el mercurio de las aguas residuales (Chiarle 2000).

e. Destilación de mercurio – purificación

171. Tras el tratamiento, el mercurio recogido es purificado posteriormente mediante destilación sucesiva (EPA de los Estados Unidos 2000). Mediante destilación se produce mercurio de gran pureza en muchas etapas, que permite lograr un alto grado de pureza en cada etapa de la destilación[32].

2. Operaciones que no dan lugar a la recuperación de mercurio elemental

172. Antes de eliminar desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contengan mercurio o estén contaminados con él, se deberán tratar de manera que cumplan los criterios de aceptación de las plantas de eliminación (véase la sección III, G, 2, b) infra). Los desechos consistentes en mercurio elemental se deberán solidificar o estabilizar antes de ser eliminados. La eliminación de los desechos se deberá llevar a cabo conforme a las leyes y reglamentos nacionales y locales. Las operaciones de tratamiento previas a las operaciones D5 y D12 se clasifican como operación D9.

a) Tratamiento físicoquímico

a. Estabilización y solidificación

173. Los procesos de estabilización son reacciones químicas que pueden cambiar la peligrosidad del desecho (reduciendo la movilidad y a veces la toxicidad de los constituyentes del desecho). Los procesos de solidificación solo cambian el estado físico de los desechos mediante el uso de aditivos (por ejemplo, líquido en sólido), sin cambiar las propiedades químicas de los desechos (Comisión Europea 2003).

174. La solidificación y estabilización se aplica, por ejemplo, a los desechos consistentes en mercurio elemental y desechos contaminados por mercurio como suelos, fangos, cenizas y líquidos. La solidificación y estabilización reduce la movilidad de los contaminantes en el medio al aglutinarlos físicamente en una masa estabilizada o induciendo reacciones químicas que pueden reducir la solubilidad o la volatilidad, y por ende reducen la movilidad (EPA de los Estados Unidos 2007b).

175. La solidificación y estabilización se utilizan por regla general en el caso de desechos diversos, como los fangos cloacales, las cenizas del incinerador, el líquido contaminado por mercurio y aceites contaminados por mercurio. El mercurio de esos desechos no es fácilmente accesible a los agentes lixiviantes o la desorción térmica, pero es lixiviable cuando el desecho estabilizado se deposita en un vertedero y se le mantiene allí por largo tiempo, como ocurre con otros metales y compuestos orgánicos. El mercurio de los desechos solidificados y estabilizados en el vertedero puede lixiviarse (es decir, disolverse y apartarse de los desechos estabilizados por medio de los líquidos en el vertedero), migrar hacia el agua subterránea o hacia las aguas superficiales cercanas y evaporarse en la atmósfera en condiciones ambientales naturales.

176. La solidificación y estabilización supone la aglutinación o compactación física de los contaminantes en una masa estabilizada (solidificación) o la inducción de reacciones químicas entre el agente estabilizador y los contaminantes para reducir su movilidad (estabilización). La solidificación se utiliza para encapsular o absorber los desechos y formar un material sólido, cuando en los desechos están presentes líquidos libres que no son mercurio elemental. Los desechos se pueden encapsular de dos maneras: microencapsulación y macroencapsulación. La microencapsulación es el proceso de mezclar los desechos con el material encapsulante antes de que se produzca la solidificación. La macroencapsulación es el proceso de verter material encapsulante encima y alrededor de la masa de desechos, de manera de encerrarlo en un bloque sólido (EPA de los Estados Unidos 2007b).

177. En sentido general, el proceso de estabilización supone la mezcla de suelos o desechos con aglutinantes como cemento Portland, cemento con polímeros de azufre, aglutinantes de sulfuro y fosfato, polvo de hornos de cemento, resinas de poliéster o compuestos de polisiloxano para crear un fango, una pasta u otro estado semilíquido, que con el tiempo se cura hasta formar un sólido (EPA de los Estados Unidos 2007b).

178. Se pueden aplicar dos procedimientos químicos fundamentales a los desechos consistentes en mercurio elemental y a los desechos que contienen mercurio o están contaminados por este (Hagemann 2009):

a) Conversión química del sulfuro mercúrico; y

b) Amalgamación (formación de una aleación sólida con los metales idóneos).

179. Se logra reducir el riesgo a un nivel suficiente, si el coeficiente de conversión (porcentaje del mercurio que reacciona) se aproxima o equivale al 100%. De no ser así, la volatilidad y la lixiviabilidad del mercurio se mantienen elevadas, como ocurre con las amalgamas (Mattus 1999).

Estabilización como sulfuro mercúrico

180. Dado que la forma más común en que se encuentra el mercurio en forma natural es el cinabrio (HgS) del cual se deriva el mercurio metálico, uno de los métodos más importantes y mejor investigados es la reconversión del mercurio elemental cercana a su estado natural como HgS. Los desechos consistentes en mercurio elemental se mezclan con azufre elemental o con otras sustancias que contienen azufre para formar sulfuro de mercurio (HgS). La producción de HgS puede dar lugar a dos tipos diferentes: alfa-HgS (cinabrio) y beta-HgS (meta-cinabrio). El alfa-HgS puro (de un intenso color rojo) tiene una solubilidad en el agua un poco menor que el beta-HgS puro (de color negro). El HgS es un polvo con una densidad de 2,5 a 3 g/cm³.

181. En general, el HgS se produce mezclando mercurio y azufre a temperatura ambiente durante determinado tiempo hasta que se produce sulfuro de mercurio(II). Para comenzar el proceso de reacción, hace falta determinada energía de activación que se puede obtener mezclando esa combinación durante algún tiempo. Entre otros factores, tasas más elevadas de desviación y temperaturas más altas durante el proceso apoyan la producción de la fase alfa, mientras que una mayor duración del proceso favorece la creación de beta cinabrio. Un tiempo de molturación excesivo en presencia de oxígeno puede terminar por producir óxido de mercurio(II). Dado que el HgO es

mucho más soluble en el agua que el HgS, hay que evitar su creación molturando en condiciones atmosféricas inertes o mediante la adición de un antioxidante (por ejemplo, sulfuro de sodio). Debido a que la reacción entre el mercurio y el sulfuro es exotérmica, una atmósfera inerte contribuye a una operación sin riesgos. La realización del proceso es constante y relativamente simple. El HgS es insoluble en agua y no volátil, químicamente estable y no reactivo, y solo es atacado por ácidos concentrados. Por ser un material pulverulento fino, su manipulación está sujeta a requisitos específicos (evítese, por ejemplo, el riesgo de desprendimiento de polvo). Este proceso de estabilización provoca un aumento del volumen por un factor de ~300% y del peso en ~16 a 60% en comparación con el mercurio elemental.

182. Desde 2010 se dispone de un proceso de estabilización en gran escala de desechos consistentes en mercurio elemental con azufre que forman sulfuro de mercurio (HgS). El proceso tiene lugar en una mezcladora al vacío que funciona en una atmósfera inerte al vacío que asegura un buen proceso de control y una operación sin riesgos. La mezcladora funciona por tandas, con 800 kg de mercurio metálico en cada tanda. Un filtro de polvo y un filtro de carbón activado impiden que salgan emisiones de la planta. La reacción entre el mercurio y el azufre tiene lugar en proporción estoiquiométrica. El producto final consiste en sulfuro mercúrico rojo con valores de lixiviación por debajo de 0,002 mg de Hg/kg (ensayos realizados conforme a la Norma europea 12457/1-4). El producto final es termodinámicamente estable hasta los 350°C. El proceso de mezcla al vacío asegura una operación sin riesgos, es decir no hay fugas durante la operación y la demanda de energía se reduce al ser más bajo el punto de ebullición[32]. Se han cumplido los criterios de admisión de los desechos, que incluyen un ensayo de lixiviación conforme a la Decisión 2003/33/CE del Consejo Europeo, de 19 de diciembre de 2002, por la que se establecen los criterios y procedimiento para la admisión de desechos en los vertederos de conformidad con el artículo 16 y el anexo II de la Directiva 1999/31/CE relativa al sulfuro mercúrico. El sulfuro mercúrico deberá eliminarse de preferencia en instalaciones subterráneas.

Estabilización/solidificación del polímero de azufre

183. El proceso de estabilización del polímero de azufre es una modificación de la estabilización del azufre con la ventaja de que se crean menos vapores y el mercurio se lixivia menos, porque el producto final es monolítico y ocupa poco espacio. En este proceso, el mercurio elemental reacciona con el azufre y produce sulfuro de mercurio (II). Simultáneamente, el HgS es encapsulado y, por esa razón, el producto final es un monolito. El proceso se basa en el uso de ~95% por peso de azufre elemental y 5% de modificadores de polímeros orgánicos, llamados también cemento con polímeros de azufre. El cemento con polímeros de azufre puede ser diciclopentadieno u oligómeros de ciclopentadieno. El proceso se tiene que llevar a cabo a una temperatura relativamente alta de unos 135°C, que puede dar lugar a cierta volatilización y, por consiguiente, a la emisión del mercurio durante el proceso. En todo caso, el proceso requiere la creación de una atmósfera inerte a fin de prevenir la formación de óxido de mercurio (II) soluble en agua. En el caso del cemento con polímeros de azufre, se obtiene beta-HgS. La adición de nonahidrato de sulfuro de sodio produce alfa-HgS.

184. Con este procedimiento se puede lograr una carga relativamente alta del monolito (~70%), ya que no hace falta una reacción química de la matriz para asentarse y curarse. La realización de este proceso es relativamente simple y está bien documentada; además, el producto es prácticamente insoluble en el agua, tiene una gran resistencia a la corrosión, soporta ciclos alternos de congelación y descongelación y posee una gran resistencia mecánica. Durante el proceso, es posible que se produzcan volatilizaciones y, por eso, hace falta aplicar controles técnicos apropiados. Esos controles técnicos hacen falta también para evitar la posible ignición y las explosiones. Por otra parte, el volumen del material de desecho resultante aumenta considerablemente[34].

185. Se ha informado sobre la estabilidad del producto como el comportamiento de lixiviación más bajo logrado a un valor del pH de 2 con 0,001 mg/l. En una tendencia más o menos lineal, el valor de lixiviación alcanza un máximo de ~0,1 mg/l a un valor de pH de 12 y otro ejemplo entre 0,005 y 45 mg/l para diferentes valores de pH. La razón para que exista esa gran diferencia en el comportamiento de la lixiviación de este último no fue la dependencia del pH sino una pequeña cantidad de mercurio elemental que todavía estaba presente en el producto final. El inversionista explicó que la calidad del producto aumentaba a medida que se lograba un mejor control del proceso. No se informó de emisiones de mercurio de este producto (BiPRO 2010).

34 Para más información, remítase al proyecto de repositorios seguros de mercurio (MERSADE) en http://www.mersade.eu/.

Amalgamación

186. Se entiende por amalgamación la disolución y solidificación del mercurio en otros metales como cobre, níquel, zinc y estaño, que da por resultado un producto sólido no volátil. Se trata de un subconjunto de tecnologías de solidificación. Se utilizan dos procesos genéricos para la amalgamación del mercurio en los desechos: sustitución acuosa y sustitución no acuosa. El proceso acuoso consiste en mezclar un metal de base finamente dividido como el zinc o el cobre con las aguas residuales que contienen sales de mercurio disueltas; el metal de base reduce las sales mercúricas y mercuriosas a mercurio elemental, que se disuelve en metal para formar una aleación metálica de mercurio sólida denominada amalgama. El proceso no acuoso consiste en mezclar polvos metálicos finamente divididos en el mercurio líquido de desecho para formar una amalgama solidificada. El proceso de sustitución acuosa es aplicable tanto a las sales de mercurio como al mercurio elemental, mientras que el proceso no acuoso es aplicable solo al mercurio elemental. Ahora bien, el mercurio de la amalgama resultante puede volatilizarse o hidrolizarse. De ahí que la amalgamación se utilice casi siempre en combinación con una tecnología de encapsulación (EPA de los Estados Unidos 2007b).

b. Lavado de suelos y extracción de ácidos

187. El lavado de suelos es un tratamiento *ex situ* del suelo y los sedimentos contaminados por mercurio. Se trata de un proceso que utiliza agua en una combinación de separación física de partículas por tamaño y separación química acuosa para reducir las concentraciones de contaminantes en el suelo. Este proceso se basa en el concepto de que la mayoría de los contaminantes tienden a aglutinarse con partículas de suelo más finas (arcilla y tarquín) y no con las partículas más grandes (arena y grava). Se pueden utilizar métodos físicos para separar las partículas más grandes relativamente limpias de las partículas más finas porque estas últimas se adhieren a las más grandes mediante procesos físicos (compactación y adhesión). Por eso, este proceso concentra la contaminación adherida a las partículas más finas para seguirla tratando. La extracción de ácidos es también una tecnología *ex situ* que utiliza una sustancia química extractora como el ácido clorhídrico o el ácido sulfúrico para extraer contaminantes de una matriz sólida disolviéndolos en el ácido. Los contaminantes metálicos se recuperan de la solución lixiviante ácida mediante técnicas como la electrólisis de fase acuosa. Se puede obtener información más detallada en "Treatment technologies for mercury in soil, waste, and water" (EPA de los Estados Unidos 2007b).

b) Vertederos controlados

188. Tras la estabilización o solidificación, los desechos que contienen mercurio o están contaminados con él que cumplan los criterios de aceptación en los vertederos controlados definidos en el reglamento nacional o local, podrán ser evacuados en esos vertederos. Algunas jurisdicciones han definido los criterios de aceptación para el vertimiento de desechos que contienen mercurio o están contaminados con él. Conforme a la legislación de la UE solo se podrán aceptar desechos que tengan un valor límite de lixiviación de 0,2 mg/kg de peso seco (L/S = 10 L/kg) y un valor límite de lixiviación de 2 mg/kg de peso seco (L/S = 10 L/kg) en los vertederos para desechos no peligrosos y en los vertederos de desechos peligrosos, respectivamente. Según el reglamento sobre el tratamiento de los desechos de mercurio de los EE.UU., solo se podrán tratar y depositar en vertederos los desechos que contengan una baja concentración de mercurio. Para que sean aceptados en los vertederos, los desechos de mercurio tratados deberán lixiviar menos de 0,025 mg/L de mercurio (en un ensayo del procedimiento de lixiviación para determinar la toxicidad) para su eliminación en vertederos. Según la legislación japonesa, los desechos tratados con una concentración de mercurio superior a 0,005 mg/L (Método de ensayo de lixiviación: Ensayo normalizado de lixiviación del Japón No. 13 (JLT-13) (Notificación Núm. 13 del Ministerio del Medio Ambiente)) deberán ser eliminados en un vertedero de diseño especial en el Japón (Ministerio del Medio Ambiente del Japón 2007b). Por otra parte, en algunos países está prohibido eliminar en vertederos determinados desechos que contienen mercurio o están contaminados con él.

189. Un vertedero de diseño especial es un sistema de eliminación ambientalmente racional de desechos sólidos y es el lugar donde los desechos sólidos quedan cubiertos y aislados del medio ambiente y entre sí. Todos los aspectos de las operaciones en el vertedero se deberán controlar para proteger la salud y la seguridad de todo el que viva y trabaje cerca del vertedero, y velar por un medio ambiente sin riesgos (SCB 1995b).

190. En principio, y por un tiempo definido, se pueden aplicar medidas técnicas en el vertedero para que no presente riesgos para el medio ambiente siempre y cuando el lugar sea apropiada y se tomen las debidas precauciones y el manejo sea eficiente. Se deben cumplir requisitos específicos relativos a la selección del emplazamiento, el diseño y la construcción, las operaciones de acondicionamiento y vigilancia de los vertederos controlados, a fin de prevenir las fugas y la contaminación del medio ambiente. Se deberán aplicar procedimientos de control y supervisión igualmente al proceso de

selección del emplazamiento, el diseño y la construcción, el funcionamiento y la vigilancia, así como durante el cierre y las medidas posteriores al cierre (SCB 1995b). En los permisos se incluirán especificaciones relativas a los tipos y las concentraciones de desechos que se admitirán, los sistemas de control de los lixiviados y los gases, la vigilancia, la seguridad del lugar, así como el cierre y las medidas posteriores al cierre.

191. Se debe prestar especial atención a las medidas que hay que adoptar para proteger las aguas subterráneas de la infiltración de lixiviados en el suelo. La protección del suelo, las aguas subterráneas y las aguas superficiales deberá lograrse combinando una barrera geológica y un sistema de revestimiento del fondo durante la etapa de funcionamiento y una combinación de barrera geológica y una cubierta superior durante el cierre y la etapa posterior al cierre. En el vertedero se debe instalar un sistema de drenaje y recolección del lixiviado que permita bombearlo a la superficie para su tratamiento antes de descargarlo en las aguas. Por otra parte, se deben establecer procedimientos de vigilancia durante las etapas de funcionamiento y después del cierre de un vertedero a fin de poder detectar todo efecto ambiental adverso posible de este y adoptar las medidas correctivas pertinentes. La selección del método de preparación del vertedero y el revestimiento se hará teniendo en cuenta el lugar donde se encuentre, la geología y otros factores específicos del proyecto. Se deberán aplicar los principios de ingeniería geotécnica apropiados a los diferentes aspectos del vertedero de diseño especial, como la construcción de diques, taludes de desmonte, compartimentos de vertederos, caminos de acceso y sistemas de avenamiento (Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME) 2006). Por ejemplo, el emplazamiento del vertedero podría ser un recinto hermético de hormigón reforzado, cubierto con una especie de equipo que impida la entrada del agua de lluvia, como un techo y un sistema de desagüe del agua de lluvia (Figura -) (Ministerio del Medio Ambiente del Japón 2007a). Existen publicaciones donde se explican algunos sistemas de revestimiento y control del lixiviado en cuanto a su eficacia en diversas condiciones. En las Technical Guidelines on Specially Engineered Landfills (Directrices técnicas relativas a los vertederos controlados) del Convenio de Basilea se explican en detalle otros enfoques de los sistemas de contención diseñados que se pueden tomar en consideración, si las condiciones son apropiadas (SCB, 1995b).

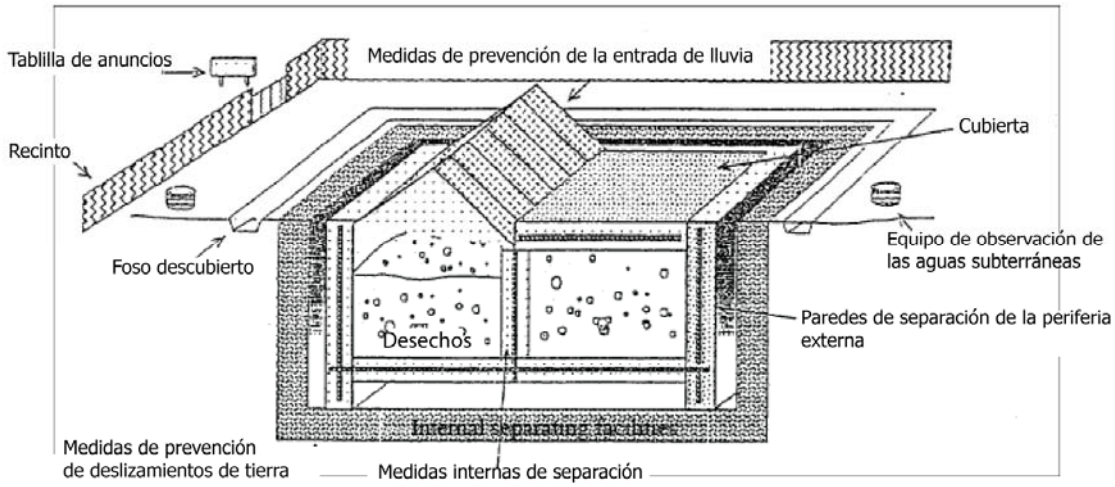

Figura -6 Vertedero de diseño especial (Ministerio del Medio Ambiente, Japón 2007a)

192. Para más información acerca de los vertederos controlados, véanse las *Technical Guidelines on Specially Engineered Landfills* (D5) del Convenio de Basilea (SCB 1995b).

c) Almacenamiento permanente (instalaciones subterráneas)

193. Tras la solidificación o estabilización, los derechos que contienen mercurio o están contaminados por este [35], que cumplan los criterios de aceptación para el almacenamiento permanente podrán almacenarse, si procede, por tiempo indefinido en contenedores especiales en las zonas designadas como una instalación de almacenamiento subterráneo.

194. La tecnología para el almacenamiento subterráneo se basa en la ingeniería de minas, que incluye la tecnología y la metodología de excavación de minas y la construcción de cámaras como una

35 Aquí se incluyen los desechos consistentes en mercurio elemental tras la estabilización o solidificación.

red teselada de pilares[36]. Las minas abandonadas se podrían utilizar para el almacenamiento permanente de residuos solidificados y estabilizados tan pronto sean adaptadas para ese fin concretamente.

195. Además, los principios y la experiencia en la eliminación subterránea de desechos radiactivos se puede aplicar al almacenamiento subterráneo de desechos que contienen mercurio o están contaminados por este. Si bien una de las posibilidades es la excavación de un depósito subterráneo profundo utilizando la tecnología de minería convencional o de ingeniería civil, esta técnica se limita a lugares accesibles (por ejemplo, bajo la superficie o cerca de la costa), a rocas razonablemente estables que no se encuentren sobre corrientes de agua subterránea importantes y a profundidades entre 250 m y 1000 m. A una profundidad mayor de los 1000 m, la excavación resulta técnicamente cada vez más difícil y proporcionalmente costosa (Asociación Nuclear Mundial 2010).

196. Las siguientes publicaciones contienen información más detallada sobre el almacenamiento permanente de desechos que contienen mercurio o están contaminados por este:

a) Comunidad Europea (2003): Evaluación de la seguridad para la admisión de residuos en instalaciones de almacenamiento subterráneo, anexo A de la Decisión del Consejo de 19 de diciembre de 2002 por la que se establecen los criterios y procedimientos de admisión de residuos en los vertederos con arreglo al artículo 16 y al anexo II de la Directiva 1999/31/CEE: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:011:0027:0049:EN:PDF;

b) BiPRO (2010): Requirements for Facilities and Acceptance Criteria for the Disposal of Metallic Mercury, http://ec.europa.eu/environment/chemicals/mercury/pdf/bipro_study20100416.pdf;

c) Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (2009): Geological Disposal of Radioactive Waste: Technological Implications for Retrievability http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1378_web.pdf;

d) Asociación Nuclear Mundial (2010): Storage and Disposal Options, http://www.world-nuclear.org/info/inf04ap2.html;

e) Proyecto de Almacenamiento de Mercurio en América Latina y el Caribe (2010): Análisis de opciones y estudio de factibilidad para el almacenamiento seguro de mercurio a largo plazo en América Latina y el Caribe, http://www.unep.org/hazardoussubstances/Mercury/InterimActivities/Partnerships/SupplyandStorage/LACMercuryStorageProject/tabid/3554/language/en-US/Default.aspx; y

f) Proyecto de Almacenamiento de Mercurio en Asia y el Pacífico (2010): Options analysis and feasibility study for the long-term storage of mercury in Asia, http://www.unep.org/hazardoussubstances/Mercury/InterimActivities/Partnerships/SupplyandStorage/AsiaPacificMercuryStorageProject/tabid/3552/language/en-US/Default.aspx.

197. El almacenamiento permanente en instalaciones situadas bajo tierra en minas de sal y formaciones de roca dura aisladas hidrogeológicamente es una opción para separar los desechos peligrosos de la biosfera durante períodos geológicos. Para cada lugar de almacenamiento subterráneo proyectado se deberá llevar a cabo una evaluación de la seguridad concretamente para ese lugar de conformidad con la legislación pertinente, como las disposiciones que figuran en el apéndice A del anexo de la Decisión 2003/33/CE del Consejo Europeo de 19 de diciembre de 2002, por la que se establecen los criterios y procedimientos para la admisión de residuos en los vertederos con arreglo al artículo 16 y al anexo II de la Directiva 1999/31/CEE.

198. Los desechos se deberán eliminar de manera que quede excluida a) toda reacción indeseable entre los diferentes desechos o entre los desechos y el revestimiento del lugar de almacenamiento y b) la liberación y el transporte de sustancias peligrosas. En los permisos de funcionamiento se definirán los tipos de desechos que deberán ser excluidos en sentido general. El aislamiento se asegura mediante una combinación de barreras técnicas y naturales (roca, sal, arcilla) y de esta manera las futuras generaciones no están en la obligación de mantener activamente esta instalación. Con frecuencia este concepto se denomina de barreras múltiples, ya que la manera de empacar los desechos, el depósito construido según especificaciones y la geología constituyen barreras que impiden que haya fugas de mercurio capaces de afectar a los seres humanos y al medio ambiente (BiPRO 2010; Comunidad Europea 2003; OIEA 2009; Asociación Nuclear Mundial 2010).

199. Factores específicos como el diagrama de distribución, los sistemas de contención, el lugar y las condiciones de almacenamiento, la vigilancia, las condiciones de acceso, la estrategia de cierre, la

36 Alemania, por ejemplo, cuenta con una gran experiencia en el almacenamiento subterráneo de desechos peligrosos.

estanqueidad y el relleno, así como la profundidad del lugar de almacenamiento, que afectan el comportamiento del mercurio en la roca hospedante y el entorno geológico, tienen que considerarse aparte de las propiedades de los desechos y del sistema de almacenamiento. Las rocas hospedantes que posiblemente sean almacenamiento permanente de desechos que contienen mercurio o están contaminados por este son las formaciones de roca salina y roca dura (rocas ígneas, por ejemplo, granito o neis, incluidas las rocas sedimentarias, por ejemplo, roca caliza o arenisca). (BiPRO 2010; Comunidad Europea 2003; OIEA 2009; Asociación Nuclear Mundial 2010).

200. Al seleccionar un lugar de almacenamiento permanente para la evacuación de desechos que contienen mercurio o están contaminados por este se deberán tener presentes las siguientes consideraciones:

a) Las cuevas o túneles utilizados para el almacenamiento deberán estar completamente separadas de las zonas de explotación minera activas y de las que podrían volver a explotarse con ese fin;

b) Las cuevas o túneles deberán estar situados en formaciones geológicas que se encuentren muy por debajo de las aguas subterráneas disponibles o en formaciones que estén completamente aisladas por rocas impermeables o capas de arcilla de los acuíferos; y

c) Las cuevas o túneles deberán estar situados en formaciones geológicas sumamente estables que se encuentren en zonas sísmicas.

201. Con miras a garantizar la inclusión completa, la mina de evacuación y cualquier espacio circundante que pueda verse afectado por las operaciones de evacuación (por ejemplo, geomecánicas o geoquímicas) deberá estar circundado por la roca hospedante (denominada zona de la roca aislante) de espesor y homogeneidad suficientes, con las propiedades idóneas y a la profundidad adecuada (véase la figura -7). Como principio básico, una evaluación de la seguridad a largo plazo deberá poder demostrar que la construcción, el funcionamiento y la etapa posterior al funcionamiento de una instalación de evacuación subterránea no causará degradación alguna de la biosfera. En consecuencia, se deben utilizar los modelos apropiados para analizar y evaluar todas las barreras técnicas (por ejemplo, la forma de los desechos, el relleno, las medidas de estanqueidad), el comportamiento de la roca hospedante y la roca circundante, las formaciones rocosas de recubrimiento y la secuencia de posibles acontecimientos en el sistema en general.

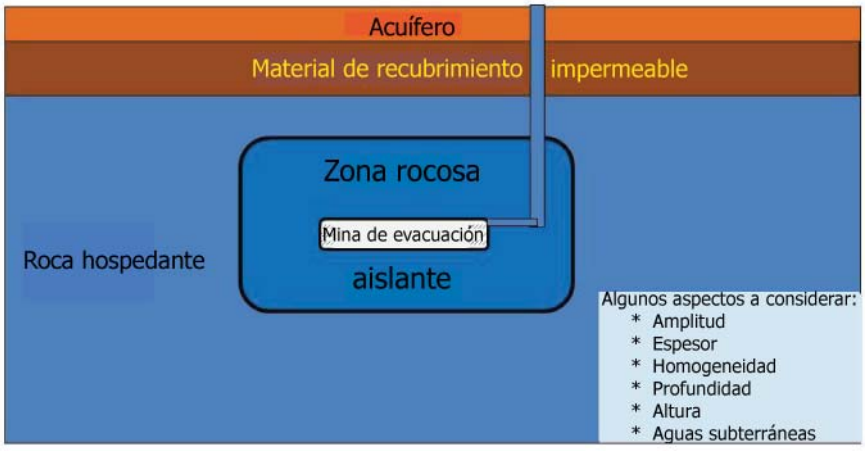

Figura -7 Concepto de la inclusión completa (esquema) (cortesía de: GRS**)**

202. Si la formación rocosa que se examina muestra alguna deficiencia (por ejemplo, de homogeneidad o espesor, un sistema de barreras múltiples podrá compensar las propiedades insuficientes o inexistentes de la roca hospedante que constituye la barrera. En general, un sistema de barreras múltiples de este tipo puede estar integrado por uno o varios componentes adicionales de la barrera (véanse el cuadro -5 y la figura -8) que pueden ayudar a lograr el objetivo final, a saber aislar los desechos de la biosfera durante un tiempo prolongado.

203. Se deberá llevar a cabo una evaluación de la seguridad a largo plazo (véase *supra*) para cerciorarse de la necesidad y el modo de acción del sistema de barreras múltiples en el sistema de evacuación. A manera de ejemplo, las formaciones geológicas que cubren una mina de evacuación ('material de recubrimiento') pueden ser eficaces de diferente manera:

a) protegiendo la roca hospedante subyacente de cualquier deterioro de sus propiedades, o

b) previendo capacidades de retención adicionales de contaminantes que pudieran desprenderse de la mina de evacuación en determinadas circunstancias.

Cuadro -5 Posibles componentes de un sistema de barreras múltiples y ejemplos de su manera de actuar

Componente de la barrera	Ejemplo de la manera de actuar
Contenido de agua	Reducción de la cantidad total de contaminantes a evacuar
Especificación de los desechos	Tratamiento de desechos a fin de obtener un contaminante menos soluble
Receptáculo de desechos	Medida transitoria por un período limitado hasta que las barreras naturales cumplan su función
Medidas relativas al relleno	Relleno de espacios vacíos en la mina para mejorar la estabilidad geomecánica o aportarle condiciones geoquímicas especiales
Medidas relativas a la hermetización	El sellado del pozo deberá aportar las mismas propiedades donde la(s) barrera(s) natural(es) se ve(ven) alterada(s) por el acceso a la mina
Roca hospedante	Inclusión completa de los contaminantes (en el caso ideal)
Material de recubrimiento	Barrera natural (geológica) adicional, por ejemplo recubriendo con una capa de arcilla de espesor suficiente y con las propiedades idóneas

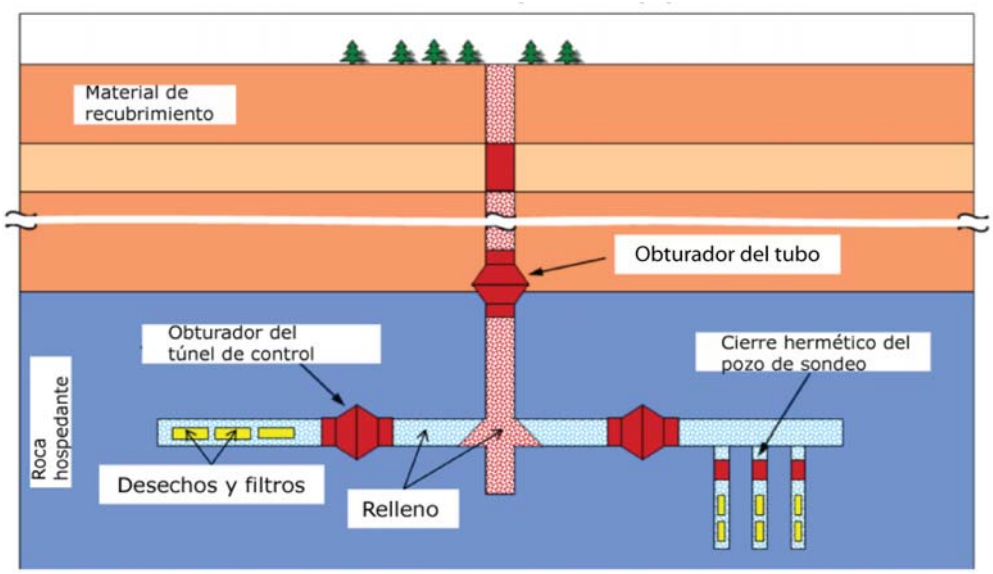

Figura -8 Principales componentes de un sistema de barreras múltiples y su distribución en el sistema (esquema) (cortesía de: GRS)

204. En general, un concepto de evacuación subterránea como el que se acaba de describir, que incluya todos los criterios, requisitos y diagrama final, etc., deberá diseñarse conforme a criterios específicos de los desechos y el vertedero, tomando en consideración todas las normas pertinentes (por ejemplo, las de la Comunidad Europea 2003). Para dar una idea aproximada de la profundidad y el espesor de los diferentes tipos de roca hospedante, en el cuadro 6, que figura a continuación se incluye una lista de las dimensiones típicas basadas en la experiencia y los planos actuales.

Cuadro -2 Valores típicos del espesor vertical de la roca hospedante y profundidad de evacuación posible (según Grundfelt y otros, 2005)

Geosistema		Espesor de la roca hospedante	Profundidad de evacuación posible
Roca hospedante	Variante		
Roca salina	Domo salífero	hasta > 1000 m	800 m
Roca salina	Estratos salinos	aprox. 100 m	650 a 1100 m
Arcilla/ piedra arcillosa		hasta 400 m	400 a 500 m
Rocas cubiertas de arcilla		aprox. 100 m	500 a 1000 m

H. Reducción de las liberaciones de mercurio mediante el tratamiento térmico y la eliminación de desechos

1. Reducción de las liberaciones de mercurio mediante el tratamiento térmico de los desechos

205. Posiblemente todavía existe mercurio acumulado en los desechos municipales, por ejemplo en pilas, termómetros, lámparas fluorescentes o interruptores con mercurio. La recogida por separado de estos productos reduce la carga general en los desechos sólidos urbanos mezclados pero en la práctica no se logra recoger el 100%. Por consiguiente, los desechos que contienen mercurio o están contaminados por este pueden combustionar, y debido a que su punto de ebullición es bajo, casi todo el mercurio de los desechos se transfiere al gas de combustión y muy poco mercurio queda en las cenizas del fondo. Gran parte del mercurio en el gas de combustión en el incinerador de desechos adopta la forma de mercurio elemental, pero la mayor parte del mercurio elemental se transforma en mercurio divalente después de pasar por el incinerador, y parte del mercurio divalente se transfiere a las cenizas volantes. Se supone que el mercurio divalente sea cloruro mercúrico; en consecuencia, se deberán seleccionar dispositivos para el tratamiento de gases de combustión que puedan extraer con eficacia ese cloruro mercúrico y el mercurio elemental. Además, los desechos que pueden contener mercurio o estar contaminados con este, como son los desechos mal separados de los centros de atención de la salud, no deberán ser incinerados en un incinerador que no tenga dispositivos para el tratamiento de los gases de combustión (Arai y otros 1997). Se deberán establecer normas para las emisiones y los efluentes del mercurio y se deberá vigilar el nivel de mercurio de los gases de combustión tratados y de las aguas residuales para comprobar que las liberaciones de mercurio al medio ambiente se mantienen en el mínimo. Esas prácticas deberán aplicarse en otras instalaciones de tratamiento térmico de los desechos, como los hornos de calcinación sellados al vacío.

206. Las técnicas primarias para la prevención de las liberaciones de mercurio a la atmósfera dimanantes de la incineración de desechos son las que previenen o controlan, de ser posible, la inclusión del mercurio en la corriente de desechos, como las siguientes (Comisión Europea 2006):

a) Eliminar con eficacia los productos con mercurio añadido de la corriente de desechos, por ejemplo, recoger por separado de determinados tipos de pilas, la amalgama dental (usando separadores de amalgama) antes de que estos desechos sean mezclados con otros desechos o con aguas residuales);

b) Notificar a los productores de desechos la necesidad de separar el mercurio;

c) Detectar o restringir la recogida de desechos que puedan contener mercurio o estar contaminados con este; y

d) Cuando se sepa que se van a recibir esos desechos, controlar la cantidad de esos desechos que se alimentará para evitar la sobrecarga de la capacidad del sistema de reducción de la contaminación.

207. El tratamiento de los gases de combustión es una de las técnicas secundarias para la prevención de las liberaciones de mercurio a la atmósfera a partir de la corriente de desechos. La UE estableció normas en la Directiva sobre la incineración de desechos (2000/76/EC) (Comunidad Europea 2001), como valores límite de emisión de las descargas de aguas residuales procedentes de la limpieza de los gases de combustión a 0,03 mg/L para el mercurio y sus compuestos, expresados como mercurio (Hg),

y un límite de emisiones a la atmósfera de 0,05 mg/m^3 durante 30 minutos promedio y 0,1 mg/m^3 como límite de ocho horas promedio para el mercurio y sus compuestos, expresados como mercurio (Hg). El Protocolo sobre metales pesados en el marco de la Convención de la CEPE sobre la contaminación atmosférica transfronteriza a larga distancia establece valores límite jurídicamente vinculantes para las emisiones de mercurio en 0,05 mg/m^3 en el caso de la incineración de desechos peligrosos y 0,08 mg/m^3 para la incineración de desechos municipales.

208. La selección de un proceso de reducción del mercurio depende del contenido de cloro del material incinerado. Con un contenido mayor de cloro, el mercurio del gas de combustión crudo adoptará una forma cada vez más iónica, que se puede depositar en depuradores por vía húmeda. En las plantas de incineración de desechos municipales y desechos peligrosos, el contenido de cloro en los desechos promedio suele ser suficientemente alto, en etapas de funcionamiento normal, que se asegura la presencia de Hg fundamentalmente en la forma de iones. Los compuestos volátiles de Hg, como el $HgCl_2$, se condensarán cuando se enfríe el gas de combustión, y se disolverán en el efluente del depurador. La adición de reactivos para la extracción específica del Hg constituye un medio de eliminarlo del proceso. Cabe señalar que en la incineración de fangos cloacales, se producen emisiones fundamentalmente de mercurio elemental, debido a que el contenido de cloro de los desechos es menor que en los desechos municipales o los desechos peligrosos. En consecuencia, se debe prestar especial atención a la captación de esas emisiones. El mercurio elemental se puede extraer transformándolo en mercurio iónico; esto se logra añadiendo oxidantes y luego depositándolo en el depurador o directamente en carbono activado saturado de azufre, en el coque del horno de solera o en zeolitas. La extracción de metales pesados de los sistemas de depuración por vía húmeda se puede lograr mediante floculación, en la que los hidróxidos metálicos se forman bajo la influencia de agentes de floculación (polielectrolitos) y $FeCl_3$. Para la extracción del mercurio se añaden álcalis activantes de perfil complejo y sulfuros (por ejemplo, Na_2S, trimercaptan, etc.

209. El mercurio de los gases de combustión se puede extraer mediante sorción con reactivos en el carbono activado en un sistema de flujo arrastrado, en el que el carbón activado es inyectado en el flujo gaseoso. El carbón es filtrado del flujo gaseoso por medio de mangas para filtrar. El carbón activado muestra una gran capacidad de absorción del mercurio, así como de los PCDD/PCDF. Los diferentes tipos de carbón activado tienen diferentes coeficientes de adsorción que se considera guarda relación con la naturaleza específica de las partículas de carbono, en las que, a su vez, influye el proceso de fabricación (Comisión Europea 2006). Los filtros estáticos de la capa de coque del horno de solera – un coque fino de 1,25 mm a 5 mm) son eficaces para depositar casi todos los componentes de los gases de combustión relacionados con las emisiones, en particular, el contenido residual de ácido clorhídrico, ácido fluorhídrico, óxidos de azufre, metales pesados (incluido el mercurio), en ocasiones cuando el límite de detección es bajo. El efecto de deposición del coque del horno de solera se basa esencialmente en mecanismos de adsorción y filtración. En general, los incineradores están dotados de dispositivos para el tratamiento de gases de combustión para que no se liberen NO_x, SO_2 y partículas, y esos dispositivos pueden captar el vapor de mercurio y el mercurio adherido a las partículas como beneficio paralelo. La inyección de polvo de carbón activado es una de las tecnologías avanzadas que se utilizan para extraer el mercurio en los incineradores o en las termoeléctricas alimentadas con carbón. El mercurio adsorbido en los carbones activados se puede estabilizar o solidificar para su eliminación definitiva (véase la sección III, G, 2, a *supra*)

210. Los siguientes documentos ofrecen también información técnica en relación con la reducción de las emisiones de mercurio durante la incineración de los desechos:

a) Legislación nacional, por ejemplo la Directiva 2000/76/CE de la UE sobre incineración de desechos;

b) PNUMA (2002): Evaluación Mundial del Mercurio, http://www.unep.org/hazardoussubstances/LinkClick.aspx?fileticket=Kpl4mFj7AJU%3d&tabid=3593&language=en-US;

c) Comisión Europea (2006): Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration, http://eippcb.jrc.es/reference/wi.html;

d) PNUMA (2010c): Estudio sobre las fuentes y emisiones de mercurio y análisis del costo y la eficacia de las medidas de control "Estudio del PNUMA pedido en el párrafo 29" (UNEP(DTIE)/Hg/INC.2/4), http://www.unep.org/hazardoussubstances/Mercury/Negotiations/INC2/INC2MeetingDocuments/tabid/3484/language/en-US/Default.aspx; and

e) Protocolo de la CEPE sobre metales pesados de la Convención sobre la Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Larga Distancia.

211. Cuando se utilice un depurador por vía húmeda como método de tratamiento de los gases de combustión, será indispensable tratar las aguas residuales que salen del depurador.

2. Reducción de las emisiones de mercurio de los vertederos

212. Cuando es inevitable depositar en los vertederos los desechos que contienen mercurio o están contaminados por este (operación D1), hay tres tipos de vías por las que se libera al medio ambiente el mercurio de los vertederos controlados sanitariamente; el frente de trabajo de los vertederos, la lixiviación y el gas de los vertederos, de los cuales los sitios más importantes de emisión de mercurio son el frente de trabajo y los respiraderos por donde sale el metano (Lindberg and Price 1999).

213. Según informes, las liberaciones de mercurio mediante lixiviación son mínimas en comparación con las dimanantes del gas de vertederos (Yanase y otros 2009; Takahashi y otros 2004; Lindberg y otros 2001). El mercurio transferido al lixiviado se puede eliminar mediante el tratamiento del lixiviado, que es el mismo que reciben las aguas residuales que salen del depurador por vía húmeda de los incineradores de desechos. Las liberaciones de mercurio dimanantes de los vertederos se pueden reducir impidiendo que entren en los vertederos los desechos que contienen mercurio o están contaminados con este y previniendo los incendios en los vertederos.

214. Diariamente se deberá aplicar una capa de tierra para reducir la liberación directa de mercurio de los desechos que se han añadido recientemente a los vertederos (Lindberg y Price 1999), así como la posibilidad de que se produzcan incendios en los vertederos. Es aconsejable almacenar materiales para la capa de relleno de manera que se pueda aplicar con rapidez una capa de tierra en caso de incendio en el vertedero, y mantener máquinas de reserva que se utilizarán con ese propósito (por ejemplo, camión de volteo, explanadora de empuje).

215. Se deberá instalar un sistema de captación de gases del vertedero que extraiga los vapores de mercurio y el metilmercurio a fin de prevenir su liberación a la atmósfera.

I. Saneamiento de lugares contaminados

216. En todo el mundo existen lugares contaminados por mercurio, que son en lo fundamental el resultado de las actividades industriales, sobre todo la minería, la producción de cloro y la fabricación de productos con mercurio añadido. La mayor parte de la contaminación de esos lugares es el resultado del uso del mercurio en la minería artesanal y en pequeña escala del oro; una actividad que ya no se realiza, en lo fundamental, o que está sujeta a controles técnicos y reglamentarios en los países desarrollados, pero que se mantiene en los países en desarrollo en grandes emplazamientos y en la forma de minería artesanal y en pequeña escala del oro. Las actividades industriales históricas o actuales han dado lugar a la contaminación de la tierra por mercurio y por gran cantidad de colas de las minas en zonas extensas o en zonas donde la contaminación está muy dispersa debido a la migración del metal en los cursos de agua y otros elementos. En la presente sección se resumen: a) tanto las técnicas de rehabilitación reconocidas y más recientes de que se dispone para la limpieza; como b) las medidas de respuesta en casos de emergencia apropiadas, cuando se descubre un nuevo lugar.

1. Detección de lugares contaminados y respuesta en casos de emergencia

217. Es posible detectar un lugar contaminado por mercurio que constituya una amenaza para la salud humana o el medio ambiente mediante:

a) Observación visual de las condiciones del lugar o de las fuentes de contaminantes concomitantes;

b) Observación visual de la fabricación y otras operaciones de las que se sabe que utilizan o emiten un contaminante especialmente peligroso;

c) Efectos adversos observados en los seres humanos, la flora o la fauna causados presumiblemente por la proximidad al lugar;

d) Resultados físicos (por ejemplo, el pH) o analíticos que muestren niveles de contaminación; e

e) Informes de la comunidad a las autoridades acerca de emisiones sospechosas.

218. Los lugares contaminados por mercurio se parecen a otros lugares contaminados en que el mercurio puede llegar a los receptores de muy diversas maneras. El mercurio es especialmente problemático debido a sus vapores peligrosos, su bajo nivel de efectos observables en los animales y los diferentes niveles de toxicidad que dependen de la forma (es decir, el mercurio elemental frente al

metilmercurio). El mercurio se puede detectar también utilizando una combinación de instrumentos de medición y análisis de laboratorio.

219. La primera prioridad es aislar en todo lo posible a los receptores de la contaminación a fin de limitar al máximo la exposición en adelante. En esto los lugares contaminados por mercurio se parecen a cualquier otro lugar donde se manipule algún contaminante tóxico potencialmente móvil.

220. En caso de que el emplazamiento se encuentre en un lugar residencial y relativamente pequeño, EPA de los EE.UU. imparte amplia orientación acerca de la respuesta en casos de emergencia en su *Mercury Response Guidebook*, cuya finalidad es buscar solución a los derrames pequeños y medianos en las zonas residenciales (EPA de los Estados Unidos 2001).

221. Como alternativa, en el caso de zonas más extensas afectadas por el uso no reglamentado del mercurio en países en desarrollo (por ejemplo, para la extracción de oro artesanal y en pequeña escala), en los protocolos relativos a la evaluación ambiental y sanitaria del mercurio liberado por los mineros de oro que aplican técnicas artesanales y en pequeña escala se formulan algunas recomendaciones sobre medidas de respuesta (Proyecto Mundial del Mercurio 2004).

2. Saneamiento ambientalmente racional

222. Las medidas de saneamiento (limpieza) de lugares contaminados por mercurio dependen de diversos factores que definen el lugar y los posibles efectos en el medio ambiente y la salud. Al seleccionar un grupo inicial de tecnologías de tratamiento para examinar y posteriormente seleccionar una combinación de técnicas y tecnologías, los factores que inciden en la selección son:

a) Factores ambientales:

i) La cantidad de mercurio liberado durante las operaciones;

ii) El origen de la contaminación;

iii) El estado químico del mercurio en el lugar contaminado;

iv) El número, el tamaño y la ubicación de las zonas sensibles contaminadas por mercurio (que requieren saneamiento);

v) En el caso de operaciones mineras, gracias a cuyas propiedades se extrae el mercurio, entre ellas, las características del suelo, etc.;

vi) La posibilidad de metilación del mercurio;

vii) La posibilidad de lixiviación del mercurio del medio contaminado (por ejemplo, suelos y sedimentos);

viii) La contaminación de fondo por mercurio – la deposición regional del mercurio en la atmósfera no relacionada con las fuentes localizadas;

ix) La movilidad del mercurio en el régimen hidrológico; y

x) Las normas locales/estatales/federales de saneamiento: agua, suelos/sedimentos, aire.

b) Receptores;

i) La biodisponibilidad de biota acuática, invertebrados, plantas comestibles; y

ii) Las concentraciones de mercurio en los receptores humanos, animales y plantas que indican la exposición.

223. Tan pronto han sido evaluados esos factores, podrá comenzar un análisis más completo de las técnicas de saneamiento apropiadas. Según la gravedad, la envergadura, el grado y el tipo de contaminación por mercurio y otros contaminantes presentes y los receptores, es probable que haya que elaborar un plan de recuperación que utilice diversas técnicas para reducir de la manera más eficaz y eficiente la toxicidad, la presencia y la cantidad de contaminación por mercurio en el lugar. En *Mercury Contaminated Sites: A Review of Remedial Solutions* (Hinton 2001) y *Treatment Technologies for Mercury in Soil, Waste, and Water* (EPA de los Estados Unidos 2007b) [37] figura más información sobre las técnicas de saneamiento. Hay información sobre casos de rehabilitación como

37 En las páginas web de EPA de los Estados Unidos figura información adicional, por ejemplo, tecnologías de tratamiento del mercurio (http://www.clu-in.org/contaminantfocus/default.focus/sec/Mercury/cat/Treatment_Technologies/) y Políticas y orientación (http://www.epa.gov/superfund/policy/guidance.htm).

el de la Bahía de Minamata (Japón) (Ayuntamiento de Minamata 2000) y la zona donde se encuentra la planta química de Marktredwitz (Alemania) (Comité de Desafíos de la Sociedad Moderna de la Organización del Tratado del Atlántico Norte, 1998).

J. Salud y seguridad

224. Los empleadores deberán velar por la protección de la salud y la seguridad de toda persona empleada mientras esté trabajando. Cada empleado deberá contratar y mantener un seguro, conforme a una póliza aprobada por un asegurador autorizado que asegure un nivel de cobertura suficiente en caso de responsabilidad (indemnización) por enfermedad o lesiones físicas de los empleados causadas por y durante su actividad laboral. En todas las instalaciones donde se manipulen desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contienen mercurio o están contaminados por este deberán elaborarse planes de salud y seguridad para asegurar la protección de toda persona que se encuentre en la instalación y sus alrededores. Dicho plan deberá ser preparado para cada instalación por un profesional de la salud y la seguridad capacitado y con experiencia en la gestión de riesgos para la salud relacionados con el mercurio.

225. La protección de los trabajadores que se han encargado del manejo de desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contienen mercurio o están contaminados por este y el público en general se puede lograr de la siguiente manera:

a) Mantener a los trabajadores y al público alejados de toda posible fuente de desechos;

b) Controlar los desechos para reducir al mínimo la posibilidad de exposición; y

c) Proteger a los trabajadores cerciorándose de que usen el equipo de protección personal.

226. La OMS ha establecido los valores indicativos de las concentraciones de mercurio en el agua potable y el aire ambiente; a saber 0,006mg/L (mercurio inorgánico) y 1 $\mu g/m^3$ (vapor de mercurio inorgánico) respectivamente (OMS 2006; Oficina Regional de la OMS para Europa 2000). Se exhorta a los gobiernos a vigilar el aire y el agua a fin de proteger la salud humana, sobre todo cerca de los lugares donde se llevan a cabo actividades de manejo de desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contienen mercurio o están contaminados por este. Algunos países han establecido niveles permisibles de mercurio en el entorno de trabajo (por ejemplo, 0,025mg/m^3 como Hg para el mercurio inorgánico, con exclusión del sulfuro mercúrico y 0,01mg/m^3 como Hg para los compuestos alquilos de mercurio en el Japón; las operaciones de manejo de los desechos deberán llevarse a cabo de manera que cumplan los niveles permisibles de mercurio en el entorno de trabajo y las instalaciones donde se realizan esas operaciones deben diseñarse y funcionar de manera que se reduzcan al mínimo las liberaciones de mercurio a la atmósfera en todo lo que sea técnicamente posible.

227. Se deberá prestar atención especial a los lugares en donde se manipulen productos con mercurio añadido. En la corriente de desechos, las emisiones de mercurio dimanantes de los productos con mercurio añadido pueden crear exposiciones que aumenten los riesgos para la salud y contribuyan a las emisiones al medio ambiente en muchos lugares. Los recolectores de desechos, los chóferes de camiones y los trabajadores de los puntos de traslado pueden verse expuesto al mercurio durante breves períodos de máxima emisión de vapores de mercurio cuando se manipulan esos desechos. Los trabajadores que se encargan del manejo de desechos en la "zona activa" de un vertedero, el espacio activo donde se vierten, esparcen, compactan y entierran los desechos, pueden verse expuestos en reiteradas ocasiones a los vapores de mercurio. Las personas del sector no estructurado que se dedican a hurgar en los vertederos para recuperar artículos reutilizable corren el riesgo de exposición crónica. Los puntos de ventilación del gas metano generado por la descomposición de los residuos orgánicos son fuentes adicionales de liberación del mercurio y de exposición a este.

228. Las instalaciones de eliminación, sobre todo donde se realizan las operaciones de recuperación, presentan también un alto riesgo de exposición al mercurio. Las principales actividades de alto riesgo son la trituración de lámparas fluorescentes, la extracción de mercurio elemental de los productos que con mercurio añadido como termómetros y barómetros, el tratamiento térmico de desechos que contienen mercurio o están contaminados por este y la estabilización/solidificación del mercurio elemental.

229. Se deberá impartir capacitación al personal en el manejo ambientalmente racional efectivo, para asegurar también la protección de los trabajadores de la exposición al mercurio y los accidentes durante el manejo de los desechos.

230. Los trabajadores deberán tener el nivel básico de conocimientos siguiente:

a) La definición de desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contienen mercurio o están contaminados por este y los aspectos químicos del mercurio con sus efectos adversos;

b) Cómo separar esos desechos de los demás;

c) Seguridad del trabajador y protección de su salud contra el mercurio;

d) Uso del equipo de protección personal, para cubrir el cuerpo, proteger la cara y los ojos, usar guantes y máscaras para respirar;

e) Requisitos pertinentes para el etiquetado y almacenamiento, requisitos sobre la compatibilidad de los contenedores y la indicación de las fechas y requisitos de hermeticidad de los contenedores;

f) Cómo tratar técnicamente los desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contienen mercurio o están contaminados por este, en particular los productos usados que contienen mercurio elemental como termómetros, barómetros, etc., usando el equipo disponible en la instalación;

g) Uso de controles técnicos para reducir al mínimo la exposición; y

h) Cómo reaccionar en caso de emergencia si se produce un derrame accidental del mercurio en los desechos.

231. Es importante tener un seguro del trabajador y un seguro de responsabilidad del empleador a fin de estar mejor preparados para accidentes o accidentes laborales en la instalación.

232. Además, se recomienda utilizar en la capacitación del personal el Material para Sensibilización (PNUMA 2008d). Todos los materiales de capacitación deberán traducirse a los idiomas vernáculos.

K. Respuesta en casos de emergencia

1. Plan de respuesta en casos de emergencia

233. Se deberán elaborar planes de respuesta en casos de emergencia relacionados con la producción, el uso, el almacenamiento, el transporte y los lugares de eliminación del mercurio. Si bien los planes de respuesta en casos de emergencia pueden variar según la etapa de manejo de los desechos y las condiciones físicas y sociales de cada lugar, los principales elementos de un plan de respuesta en casos de emergencia son la determinación de los posibles riesgos, la legislación que rige los planes de respuesta en casos de emergencia, las medidas que se habrán de adoptar en situaciones de emergencia, incluidas las de mitigación, los planes de capacitación del personal, los objetivos de la comunicación (servicios de bomberos, policía, comunidades vecinas, gobiernos locales, etc.) y los métodos que se aplicarán en casos de emergencia, así como los métodos y la frecuencia de los ensayos del equipo de respuesta en casos de emergencia.

234. Cuando se produce una emergencia, lo primero que hay que hacer es realizar una inspección del lugar. La persona encargada deberá acercarse con cautela en dirección contraria al viento, garantizar la seguridad del lugar y determinar el peligro. Los carteles, las etiquetas de los contenedores, los conocimientos de embarque, las notas descriptivas sobre seguridad de los materiales, los gráficos de identificación del vehículo o las personas que conocen el lugar son valiosas fuentes de información. Se deberá determinar entonces si es necesario evacuar, la disponibilidad de recursos humanos y equipo y las posibles medidas inmediatas. Para velar por la seguridad pública, se deberá llamar a un organismo encargado de la respuesta en casos de emergencia y, como medida de precaución inmediata, se deberá delimitar una zona de derrame o fuga de por lo menos 50 metros a la redonda. En caso de incendio, se deberá utilizar un agente extinguidor para el tipo de fuego circundante, pero no agua. Obtenga más información útil en *Emergency response guidebook* (Departamento de Transporte de los Estados Unidos, Transportes del Canadá y la Secretaría de Comunicaciones y Transporte de México (SCT) 2008).

2. Consideración especial de los derrames de mercurio elemental

235. Un derrame accidental de mercurio elemental se produce cuando se rompen productos de desecho con mercurio añadido. La mayoría de estos casos parece ocurrir con los termómetros de vidrio que contienen mercurio, de amplio uso en el mundo, pero se rompen fácilmente. Aunque la cantidad de mercurio en cada termómetro ronda los 0,5 a 3 g y no entraña, por regla general, graves problemas para la salud, los derrames de mercurio deberán considerarse peligrosos y limpiarse con precaución. Si alguien se queja después de que se produce un derrame de mercurio, se deberá establecer contacto inmediato con un médico o con las autoridades de salud ambiental.

236. Si se trata de un derrame pequeño en una zona no porosa, como pisos de linóleo o de madera dura o en una porosa que se pueda echar a la basura (como una alfombra o estera pequeñas), la persona misma la puede limpiar. Si se trata de un derrame mayor o si la alfombra no se puede echar a la basura, o se produce sobre un mueble tapizado, en grietas o hendiduras, tal vez sea necesario

contratar a un profesional. Los derrames grandes en que la cantidad de mercurio sea mayor que el que se encuentra en un producto doméstico típico se deberán notificar a las autoridades locales de salud ambiental. Si hay dudas en cuanto a que el derrame se deba clasificar como "grande", se deberá pedir a las autoridades locales de salud ambiental que lo clasifiquen para evitar problemas. En determinadas circunstancias, tal vez sea aconsejable pedir ayuda a técnicos calificados para que se ocupen de la limpieza profesional o la vigilancia de la atmósfera, independientemente de las proporciones del derrame (Environment Canada 2002).

237. Los derrames de mercurio elemental durante las actividades comerciales y en los hogares pueden exponer a los trabajadores y al público en general a vapores de mercurio peligrosos. Además, limpiar los derrames resulta costoso y altera otras actividades. En EPA de los Estados Unidos 2007c se pueden consultar procedimientos de limpieza de pequeños derrames de mercurio.

238. Decisivo para determinar el tipo de respuesta apropiada en caso de derrame de mercurio es determinar sus proporciones y su dispersión y si se dispone de los recursos y los conocimientos especializados necesarios para la limpieza. Se deberá acudir a un profesional en los siguientes casos:

a) La cantidad de mercurio podría ser mayor de 2 cucharadas (30 mililitros). Los derrames más grandes deberán notificarse a las autoridades para que se ocupen de la vigilancia y el seguimiento;

b) No se puede determinar la superficie donde ocurrió el derrame: Si no hubo testigos del derrame o si es difícil determinar hasta dónde llegó, podría haber pequeñas cantidades de mercurio que no se hayan detectado y que queden fuera de las tareas de limpieza;

c) El área donde se produjo el derrame tiene superficies porosas o semiporosas: Superficies como moquetas y losetas acústicas pueden absorber el mercurio derramado e imposibilitar la limpieza lo que impedirá la eliminación y extracción total de la superficie; y

d) El derrame tiene lugar cerca de un desagüe, un ventilador, un sistema de ventilación u otro conducto: el mercurio y los vapores de mercurio pueden alejarse con rapidez del lugar donde se produjo el derrame y contaminar otras superficies, lo que posiblemente no sea fácil de detectar.

239. La dispersión del mercurio derramado (por ejemplo, utilizando chorros de agua) se deberá evitar en todo lo posible, porque aumenta significativamente la tasa de evaporación (Consejo Mundial del Cloro, 2004).

L. Concienciación y participación

240. La concienciación y participación del público desempeñan una función fundamental en el manejo ambientalmente racional de desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contienen mercurio o están contaminados por este. La participación del público es un principio básico de la Declaración de Basilea sobre el manejo ambientalmente racional y de muchos otros acuerdos internacionales. Es esencial que el público y todos los interesados directos tengan la posibilidad de participar en la formulación de leyes y programas y en otros procesos de adopción de decisiones relacionadas con el mercurio.

241. En los artículos 6, 7, 8 y 9 de Convención de Aarhus sobre el acceso a la información, la participación del público en la toma de decisiones y el acceso a la justicia en asuntos ambientales, de 1998, se exige la adopción de medidas específicas relativas a las participación del público en actividades públicas específicas, la formulación de planes, políticas y programas y la elaboración de la legislación, y además se pide el acceso del público a la justicia en lo relativo al medio ambiente.

242. Al emprender iniciativas como la recogida y el reciclado de los desechos que contienen mercurio, es esencial asegurarse de la cooperación de los consumidores que general desechos que contienen mercurio. La sensibilización permanente es fundamental para la recogida y el reciclado con éxito de los desechos que contienen mercurio. Alentar la participación del público en conceptualizar un sistema de recogida y reciclado de los desechos que contienen mercurio, que proporcione a los residentes participantes la información que necesitan acerca de los posibles problemas causados por el manejo de esos desechos sin tomar en consideración el medio ambiente, ayudaría a aumentar el conocimiento de los consumidores.

243. Las campañas de concienciación y sensibilización del público, dirigidas a las comunidades locales y a los ciudadanos, son elementos importantes en la promoción de la participación del público en el manejo ambientalmente racional de desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contienen mercurio o están contaminados por este. Para aumentar el conocimiento de los ciudadanos, las autoridades pertinentes, es decir los gobiernos locales, tienen que emprender campañas de concienciación y sensibilización para que los ciudadanos puedan tomarse interés en protegerse contra los efectos adversos para la salud humana y el medio ambiente. Además, es importante hacer

participar a las sociedades de base de la comunidad en esas campañas debido a su relación más estrecha con los residentes y otros interesados directos en las comunidades (Honda 2005).

244. Los programas de sensibilización y participación del público deberán centrarse, por regla general, en alguna situación de manejo de desechos conocida a nivel nacional, local o comunitario. En el cuadro -7 figuran ejemplos de programas de concienciación y participación del público. Se muestran cuatro elementos: publicaciones, programas de educación sobre el medio ambiente, actividades de relaciones públicas y comunicación de los riesgos, sobre los cuales los ciudadanos pueden informarse fácilmente en lugares públicos (Honda 2005).

Cuadro -3 Programas de concienciación y participación del público

	Contenido	Resultados previstos
Publicaciones	• Folleto, panfletos, volantes, revistas, carteles, páginas web, etc., en varios idiomas y dialectos para explicar con sencillez las cuestiones relacionadas con el mercurio • Guías sobre cómo eliminar los desechos	• Fuentes de conocimiento • Explicación de cómo la población pude manipular productos con mercurio añadido y eliminar los desechos
Programas de educación ambiental	• Seminarios voluntarios • Reuniones de la comunidad • Vínculos con otros talleres de salud • Demostración del programa de devolución • Estudios científicos • Viajes a las instalaciones, etc. • Aprendizaje electrónico	• Aumentar los conocimientos • Compartir problemas comunes • Oportunidades de análisis directo de cuestiones ambientales
Actividades	• Programas de devolución • Campañas sobre productos sin mercurio • Campañas de reducción al mínimo de desechos • Reuniones de la comunidad • Visitas casa por casa	• Realización de actividades ambientales entre todos los asociados • Llamamiento a los ciudadanos en favor del medio ambiente • Comunicaciones más directas
Comunicación del riesgo	• La exposición al mercurio en el entorno de vida en general • Nivel de seguridad de la exposición al mercurio • Niveles de contaminación por mercurio • Registro sobre emisiones y transferencia de contaminantes • Alertas sobre el consumo de pescado (solo a las poblaciones que consumen grandes cantidades de pescado) • Alertas sobre el consumo de arroz • Respuesta a los derrames de mercurio dimanante de productos con mercurio añadido	• Conocimiento adecuado de los niveles de seguridad y riesgo que entraña la exposición al mercurio, en las circunstancias del caso • Evitar que cunda el pánico

245. Como parte de los programas de educación ambiental, las publicaciones proporcionan conocimientos básicos acerca de las propiedades del mercurio, su toxicología, sus efectos adversos para la salud humana y el medio ambiente, las cuestiones relacionadas con los desechos y la exposición al mercurio dimanante de desechos, así como el manejo de los desechos. Las publicaciones deberán traducirse a los idiomas y dialectos de importancia local para velar por que la información se comunique con eficacia al público al que va destinada.

246. Un programa de educación ambiental sobre desechos consistentes en mercurio elemental y desechos que contienen mercurio o están contaminados por este deberá constar de los siguientes elementos (Honda 2005):

a) Concienciación y sensibilización acerca del medio ambiente y los problemas ambientales;

b) Conocimiento y comprensión del medio ambiente y los problemas ambientales;

c) Actitudes de interés por el medio ambiente y motivación para mejorar o mantener la calidad del medio ambiente;

d) Conocimientos suficientes para detectar problemas ambientales y ayudar a resolverlos; y

e) Participación en actividades que propicien la solución de problemas ambientales.

247. Los asociados en los programas de participación del público pueden resumirse de la manera siguiente (Honda 2005):

a) Funcionarios y empleados públicos que trabajan en cuestiones ambientales;

b) Personas interesadas en problemas del medio ambiente que tienen grandes posibilidades de comprender rápidamente y difundir información a los demás:

i) Escolares y alumnos de las escuelas, estudiantes universitarios;

ii) Maestros de escuelas primarias y secundarias, a veces profesores universitarios;

iii) Hombres y mujeres de las comunidades y grupos locales; y

iv) Jubilados con la educación apropiada.

c) Personas que trabajan en la esfera del medio ambiente a nivel local o comunitario:

i) Organizaciones no gubernamentales (ONG);

ii) Empresas pequeñas y medianas; y

iii) Productores, acopiadores y recicladores locales; los dueños de la instalación de eliminación que manipulan los desechos de mercurio.

d) Personas que solían vivir en lugares contaminados:

e) Organizaciones locales;

f) Residentes urbanos; y

g) Empresas.

248. Para velar por que las liberaciones de mercurio durante la recogida, el transporte y la eliminación de desechos se mantengan al mínimo, es importante sensibilizar a las partes interesadas (es decir, transportadores, operadores de plantas de reciclado y tratamiento). Esto se puede lograr mediante: actividades de sensibilización como seminarios, que pueden aportar información acerca de los sistemas y reglamentos nuevos y oportunidades de intercambio de información preparación y distribución de volantes; y difusión de información por medio de internet.

Anexo

Bibliografía

Amuda, O.S., Alade, A.O., Hung, Y.T., Wang, L.K. (2010): Wastewater Treatment Process. En: Wang, L.K., Hung, Y.T., Shammas, N.K. (eds.) Handbook of Industrial and Hazardous Wastes Treatment, Volumen 2. CRC Press, Nueva York, EUA, 926.

Amin-Zaki, L., Maheed, M. A., Clarkson, T.W., Greenwood, M.R. (1978): Methylmercury Poisoning in Iraqi Children: Clinical Observations over Two Years, British Medical Journal, 11, 613 a 616, http://www.pubmedcentral.nih.gov/picrender.fcgi?artid=1603391&blobtype=pdf.

Arai, Norio y otros, (ed.) (1997): Productos de la incineración y su tecnología de control [en japonés].

Asano, S., Eto, K., Kurisaki, E., Gunji, H., Hiraiwa, K., Sato, M., Sato, H., Hasuike, M., Hagiwara, N., Wakasa, H. (2000): Acute Inorganic Mercury Vapour Inhalation Poisoning, Pathology International, 50, 169 a 174

Asociación Nuclear Mundial (2010): Storage and Disposal Options, http://www.world-nuclear.org/info/inf04ap2.html.

ASTM International (2008): ASTM D6784 - 02(2008) Standard Test Method for Elemental, Oxidized, Particle-Bound and Total Mercury in Flue Gas Generated from Coal-Fired Stationary Sources (Ontario Hydro Method).

Bakir, F., Damluji, SF., Amin-Zaki, L., Murtadha, M., Khalidi, A., al-Rawi, NY., Tikriti, S., Dahahir, HI., Clarkson, TW., Smith, JC., Doherty, RA. (1973): Methylmercury Poisoning in Iraq, Science, 181, 230 a 241.

Bansal, R.C., Goyal, M. (2005): Activated Carbon Adsorption of Mercury. En: Activated Carbon Adsorption. CRC Press, Nueva York, 326 a 334.

BiPRO (2010): Requirements for Facilities and Acceptance Criteria for the Disposal of Metallic Mercury, http://ec.europa.eu/environment/chemicals/mercury/pdf/bipro_study20100416.pdf.

Boom, G. V., Richardson, M. K., Trip, L. J. (2003): Waste Mercury in Dentistry: The Need for Management, http://www.ifeh.org/magazine/ifeh-magazine-2003_v5_n2.pdf.

Bull, S. (2006): Inorganic Mercury/Elemental Mercury, http://www.hpa.org.uk/chemicals/compendium/Mercury/PDF/mercury_general_information.pdf.

Butler, M. (1997): Lessons from Thor Chemicals: the Links between Health, Safety and Environmental Protection. En: The Bottom Line: Industry and the Environment in South Africa. L. Bethlehem, Goldblatt, M. Ciudad del Cabo, Sudáfrica, Imprenta de la Universidad de Ciudad del Cabo. 194 a 213.

Canadian Centre for Occupational Health and Safety (1998): Health Effects of Mercury, http://www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/chem_profiles/mercury/health_mercury.html

CCME (2006): National Guidelines for Hazardous Waste Landfills, http://www.ccme.ca/assets/pdf/pn_1365_e.pdf.

CEPE (2003): Sistema mundialmente armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos (GHS), http://live.unece.org/trans/danger/publi/ghs/ghs_rev00/00files_e.html.

CEPE (2007): Recomendaciones de las Naciones Unidas sobre el transporte de mercancías peligrosas (Reglamento modelo), http://www.unece.org/trans/danger/publi/unrec/rev15/15files_e.html.

Chang, T. C. y J. H. Yen (2006): On-site mercury-contaminated soils remediation by using thermal desorption technology, Journal of Hazardous Materials, 128(2-3), 208 a 217.

Chiarle, S., Ratto, M. (2000): Mercury Removal from Water by Ion Exchange Resins Adsorption, Water Research, 34, 2971 a 2978.

Chlorine Institute (2009): Chlor-Alkali Industry 2008 Mercury Use and Emissions in the United States (Twelfth Annual Report), http://www.epa.gov/reg5oair/mercury/12thcl2report.pdf.

Chojnacki, A., Chojnacka, K, Hoffmann, J., Gorecki, H. (2004): The application of natural zeolites for mercury removal: from laboratory tests to industrial scale, Minerals Engineering, 17, 933 a 937.

Comisión Europea (2001): Prevención y control integrados de la contaminación (IPPC) - Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles en la industria de fabricación de cloroálcalis - ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/cak_bref_1201.pdf. [en proceso de actualización]

Comisión Europea (2003): Decisión de la Comisión, de 3 de mayo de 2000, que sustituye a la Decisión 94/3/CE de la Comisión por la que se establece una lista de residuos de conformidad con la letra a) del artículo 1 de la Directiva 75/442/CEE del Consejo relativa a los residuos y a la Decisión 94/904/CE del Consejo por la que se establece una lista de residuos peligrosos en virtud del apartado 4 del artículo 1 de la Directiva 91/689/CEE del Consejo relativa a los residuos peligrosos, http://eur-lex.europa.eu/staging/Notice.do?mode=dbl&lang=en&ihmlang=en&lng1=en,es&lng2=da,de,en,es,fi,fr,it,nl,pt,sv,&val=241696:cs&page=.

Comisión Europea (2006): Prevención y control integrados de la contaminación: Documento de referencia sobre la mejores técnicas disponibles en el sector de incineración de residuos, http://eippcb.jrc.es/reference/wi.html.

Comisión Europea (2010): Reglamento (CE) nº 1102/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de octubre de 2008, relativo a la prohibición de la exportación de mercurio metálico y ciertos compuestos y mezclas de mercurio y al almacenamiento seguro de mercurio metálico, http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:304:0075:0079:EN:PDF.

Comisión Europea (2008): Opciones para reducir el uso de mercurio en productos y aplicaciones,, y el destino del mercurio que ya está circulando en la sociedad.

Comité de Desafíos de la Sociedad Moderna de la Organización del Tratado del Atlántico del Norte (NATO/CCMS) (1998): NATO/CCMS Pilot Study Evaluation of Demonstrated and Emerging Technologies for the Treatment and Clean Up of Contaminated Land and Groundwater - PHASE II FINAL REPORT APPENDIX IV — PROJECT SUMMARIES Número 219, http://www.epa.gov/tio/download/partner/append-4.pdf.

Comité Europeo de Normalización (2001): EN 13211: Air quality - Stationary source emissions - Manual method of determination of the concentration of total mercury.

Comité Europeo de Normalización (2002a): EN 12457-1 to 4: Characterization of waste - Leaching - Compliance test for leaching of granular waste materials and sludges.

Comité Europeo de Normalización (2002b): EN 13656: Characterization of waste - Microwave assisted digestion with hydrofluoric (HF), nitric (HNO3) and hydrochloric (HCl) acid mixture for subsequent determination of elements in waste.

Comité Europeo de Normalización (2002c): EN 13657: Characterization of waste - Digestion for subsequent determination of aqua regia soluble portion of elements in waste.

Comité Europeo de Normalización (2003): EN 13370: Characterization of waste - Analysis of eluates - Determination of Ammonium, AOX, conductivity, Hg, phenol index, TOC, easy liberatable CN-, F-.

Comité Europeo de Normalización (2004): TS 14405: Characterization of waste - Leaching behaviour test - Up-flow percolation test.

Comité Europeo de Normalización (2005): EN 14884: Air quality - Stationary source emissions - Determination of total mercury: Automated measuring systems.

Comité Europeo de Normalización (2006): EN 12920: Characterization of waste - Methodology for the determination of the leaching behaviour of waste under specified conditions.

Comité Europeo de Normalización (2007): EN 15309: Characterization of waste and soil - Determination of elemental composition by X-ray fluorescence.

Comunidad Europea (2001): Directiva 2000/76/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de diciembre de 2000, relativa a la incineración de residuos**,** http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32000L0076:ES:HTML

Comunidad Europea (2003): Safety Assessment for Acceptance of Waste in Underground Storage, Appendix A to Council Decision of 19 December 2002 establishing criteria and procedures for the acceptance of waste at landfills pursuant to Article 16 of and Annex II to Directive 1999/31/EC: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:011:0027:0049:EN:PDF.

Consejo Mundial del Cloro (2004): Code of Practice, Mercury Housekeeping, Environmental Protection 11, quinta edición, http://www.chem.unep.ch/mercury/Sector-Specific-Information/Docs/ENV%20Prot%2011%20Edition%205.pdf.

Damluji, S. F., Tikriti, S. (1972): Mercury Poisoning from Wheat, British Medical Journal, 25, 804.

Departamento de Asuntos Ambientales y Turismo, Gobierno de Sudáfrica (1997): Report of the First Phase. Pretoria, Sudáfrica.

.

Departamento de Asuntos Ambientales y Turismo, Gobierno de Sudáfrica (2007): Thor Chemicals, http://www.environment.gov.za/.

Departamento de Energía de los Estados Unidos (2009): US Department of Energy Interim Guidance on Packaging, Transportation, Receipt, Management, and Long-Term Storage of Elemental Mercury, http://www.mercurystorageeis.com/Elementalmercurystorage%20Interim%20Guidance%20(dated%202009-11-13).pdf.

Departamento de Transporte de los Estados Unidos, Transport Canada y la Secretaría de Comunicaciones y Transporte de México (SCT) (2008): Emergency Response Guidebook, http://www.phmsa.dot.gov/hazmat/library/erg.

Environment Canada (2002): Cleaning Up Small Mercury Spills, http://www.ec.gc.ca/MERCURY/EN/cu.cfm.

Environmental Management Bureau, República de Filipinas (1997): DENR Administrative Order No. 38, Chemical Control Order for Mercury and Mercury Compounds, http://www.emb.gov.ph/chemicals/DAO%2097-38.pdf.

EPA de los EE.UU. (1992): US EPA Method 1311: TCLP, Toxicity Characteristic Leaching Procedure.

EPA de los EE.UU. (1994): US EPA Method 7470 A: Mercury in Liquid Waste (Manual Cold-Vapor Technique).

EPA de los EE.UU. (1996): US EPA Method 0060: Determination of Metals in Stack Emissions.

EPA de los EE.UU. (1997a): Locating and Estimating Air Emissions from Sources of Mercury and Mercury Compounds, http://www.epa.gov/ttn/chief/le/mercury.pdf.

EPA de los EE.UU. (1997b): Sensitive Environments and the Siting of Hazardous Waste Management Facilities, http://www.epa.gov/osw/hazard/tsd/permit/site/sites.pdf.

EPA de los EE.UU. (2000): Section 2 - Treatment and Disposal Options, Proceedings and Summary Report - Workshop on Mercury in Products, Processes, Waste and the Environment: Eliminating, Reducing and Managing Risks from Non-Combustion Sources, http://www.epa.gov/nrmrl/pubs/625r00014/625r00014.pdf.

EPA de los EE.UU. (2001): Mercury Response Guidebook (for Emergency Responders), http://www.epa.gov/mercury/spills/index.htm.

EPA de los EE.UU. (2007a): Mercury Treatment Technologies, http://www.clu-in.org/contaminantfocus/default.focus/sec/Mercury/cat/Treatment_Technologies.

EPA de los EE.UU. (2007b): Treatment Technologies for Mercury in Soil, Waste and Water, http://www.epa.gov/tio/download/remed/542r07003.pdf.

EPA de los EE.UU. (2007c): Spills, Disposal and Site Clean-up, http://www.epa.gov/mercury/spills/index.htm.

EPA de los EE.UU. (2007d): US EPA Method 7471B: Mercury in Solid or Semisolid Waste (Manual Cold-Vapor Technique).

EPA de los EE.UU. (2007e): US EPA Method 7473: Mercury in Solids and Solutions by Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry.

EPA de los EE.UU. (2008): Manual for the Construction of a Mercury Collection System for Use in Gold Shops, http://www.epa.gov/oia//toxics/asgm.html.

Euro Chlor (2010): EURO CHLOR KEY FACTS ABOUT CHLORINE,

http://eurochlor.clients.cwndesign.co.uk/upload/documents/document566.pdf.

FAO (1985): Orientaciones para el envasado y el almacenamiento de plaguicidas, http://www.fao.org/ag/AGP/AGPP/Pesticid/Code/Download/pacstor.doc.

Gay, D.D., Cox, R.D., Reinhardt, J.W. (1979): Chewing Releases Mercury from Fillings, Lancet, 1, 985 y 986.

Galligan, G, Morose, G., Giordani, J. (2003): An Investigation of Alternatives to Mercury Containing Products, preparada por el Departamento de Protección Ambiental de Maine (Lowell Center for Sustainable Production, Universidad de Lowell, MA), http://www.maine.gov/dep/mercury/lcspfinal.pdf.

Glenz, T. G., Brosseau, L.M., Hoffbeck, R.W. (2009): Preventing Mercury Vapor Release from Broken Fluorescent Lamps during Shipping, J. Air and Waste Management Association, 59, 266 a 272.

GMP (2004): Protocols for Environmental and Health Assessment of Mercury Released by Artisanal and Small -Scale Gold Miners, GEF/UNDP/UNIDO, Vienna, Austria,

http://www.undp.org/gef/documents/iw/practitioner/Protocols_for_Environmental_Health_Assess_of_Mercury-Released%20by-Artisanal-Small-Scale-Gold-Miners-1.pdf.

GMP (2006): Manual for Training Artisanal and Small-Scale Gold Miners, ONUDI, Viena, Austria, www.cetem.gov.br/gmp/Documentos/total_training_manual.pdf.

GroundWork (2005): Advising and Monitoring the Clean-up and Disposal of Mercury Waste in Kwazulu-Natal, South Africa, http://www.zeromercury.org/projects/Proposal_EEB_Thor_Chemicals_Final_revised_new_WebVs.pdf.

Grundfelt, B., Jones, C., Wiborgh, M., Kreusch, J., Appel, D.(2005): Bedeutung des Mehrbarrierenkonzeptes für ein Endlager für radioaktive Abfälle – Abschlussbericht. Kemakta Konsult AB, Bericht, Kemakta AR 2005-28, Estocolmo, (Informe en alemán. Traducción del título: Importancia del concepto de barreras múltiples para la eliminación definitiva de los desechos radiactivos). http://www.bfs.de/de/endlager/publika/AG_3_Konzeptgrund_Mehrbarrierenkonzept1.pdf .

Grupo de Trabajo de PACE (2011): Gestión ambientalmente racional (ESM) Recomendaciones de criterios.

Hagemann, S. (2009): Technologies for the stabilization of elemental mercury and mercury-containing wastes. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS). GRS Report 252.

Hinton, J., Veiga, M. (2001): Mercury Contaminated Sites: A Review of Remedial Solutions, Foro NIMD 2001 - Mercury Research: Today and Tomorrow, Ciudad de Minamata (Japón), Instituto Nacional de la Enfermedad de Minamata, Ministerio del Medio Ambiente del Japón, 73 a 84, http://www.facome.uqam.ca/pdf/Minamata_Forum_2001.PDF.

Hitachi. (2006): Corporate Social Responsibility Report, http://www.hitachi.com/csr/csr_images/csr2006.pdf.

Honda, S. (2005): Estudio del manejo ambientalmente racional de desechos peligrosos y otros desechos en Asia, Universidad Tsinghua, Beijing, R.P. de China, Disertación postdoctoral.

Honda, S., Sakamoto, M., Sambo, S., Kung, S., Sotheavun, T. (2006): Current Mercury Level in Cambodia - with Issue on Waste Management, Foro NIMD 2006 II - Current Issues on Mercury Pollution in the Asia-Pacific Region, ciudad de Minamata (Japón), NIMD, 91 a 102, http://www.nimd.go.jp/english/kenkyu/nimd_forum/nimd_forum_2006_II.pdf#page=98.

Hylander, L.D., Meili, M. (2005): The Rise and Fall of Mercury: Converting a Resource to Refuse after 500 Years of Mining and Pollution, Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 35, 1 a 36.

IATA (2007): Dangerous Goods Regulations Manual.

ITRC (1998): Technical Guidelines for On-site Thermal Desorption of Solid Media and Low Level Mixed Waste Contaminated with Mercury and/or Hazardous Chlorinated Organics, The Interstate Technology and Regulatory Cooperation Work Group - Low Temperature Thermal Desorption Work Team**:** 68.

Jang, M., Hong, S. M., Park, J. K. (2005): Characterization and Recovery of Mercury from Spent Fluorescent Lamps, Waste Management, 25, 5 a 14.

Jacobs y Johnson Matthey (2011): Mercury Free VCM Catalyst, presented at VCM Catalyst Workshop, Beijing, 19 de septiembre de 2011.

Japan Standards Association (1997): JIS K 0222: Analysis Method for Mercury in Flue Gas.

Japan Public Health Association (2001): Preventive Measures against Environmental Mercury Pollution and Its Health Effects, Japan Public Health Association, Tokio, Japón, http://www.nimd.go.jp/english/kenkyu/docs/manual.pdf

Kanai, Y., Endou, H. (2003): Functional Properties of Multispecific Amino Acid Transporters and Their Implications to Transpoter-Mediated Toxicity, the Journal of Toxicological Sciences, 28, http://www.jstage.jst.go.jp/article/jts/28/1/1/_pdf.

Kerper, L.E., Ballatori, N., Clarkson, T.W. (1992): Methylmercury Transport Across the Blood-Brain Barrier by an Amino Acid Carrier, American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, 262, 761 a 765.

Kobelco Eco-Solutions Co. Ltd. (2001): Sistema de reciclado de lámparas fluorescentes [en japonés], GIHO-Kobelco Eco-Solutions Co., Ltd., 45.

Kuncova, H., Petrlik, J. y Stavkova, M. (2007): Chlorine Production – a Large Source of Mercury Releases (The Czech Republic Case Study), Arnika - Toxics and Waste Programme, Praga, http://english.arnika.org/files/documents/Mercury_CZ.pdf.

Lambrecht, B. (1989): Zulus Get Exported Poison - US Mercury Waste Pollutes Drinking Water in S. Africa. St Louis Post-Dispatch. 26.

Lindberg, S.E. y Price, J. L (1999): Airborne Emissions of Mercury from Municipal Landfill Operations: A Short-Term Measurement Study in Florida, Journal of the Air & Waste Management Association, 49, 520 a 532.

Lindberg, S. E, Wallschlägerb, D., Prestbob, E. M., Bloomb, N. S., Pricec, J. y Reinhart, D. (2001): Methylated mercury species in municipal waste landfill gas sampled in Florida, USA, Atmospheric Environment, 35 (23), 4011 a 4015.

Lowell Center for Sustainable Production (2003): An Investigation of Alternatives to Mercury Containing Products, http://www.chem.unep.ch/mercury/Sector-Specific-Information/Docs/lcspfinal.pdf.

Maine DEP (2008): Maine Compact Fluorescent Lamp Study, http://www.maine.gov/dep/rwm/homeowner/cflreport.htm

Mattus, C. H. (1999): Measurements of mercury released from amalgams and sulfide compounds. Oak Ridge National Laboratory. ORNL/TM 13728 https://www.etde.org/etdeweb//servlets/purl/5899-ysqvR6/webviewable/5899.pdf?type=download.

Maxson, P. (2010): Personal communication for the update of the UNEP 2005 mercury trade report.

Maxson, P. (2011) Personal communication.

Minamata City Hall (2000): Minamata Disease - History and Message -. Minamata Disease Museum. Minamata City, Japan.

Ministerio de Protección Ambiental, China (2010): Project Report on the Reduction of Mercury Use and Emission in Carbide PVC Production, http://www.unep.org/hazardoussubstances/Mercury/InterimActivities/Partnerships/ChloralkaliSector/tabid/3560/language/en-US/Default.aspx.

Ministerio del Medio Ambiente, Japón (1997): Our Intensive Efforts to Overcome the Tragic History of Minamata Disease.

Ministerio del Medio Ambiente, Japón (2002): Minamata Disease - The History and Measures, http://www.env.go.jp/en/chemi/hs/minamata2002/index.html.

Ministerio del Medio Ambiente, Japón (2007a): Guidebook for Waste Management - Case Study of Promoting 3Rs in Japan -. JICA Seminar on Waste Management in Japan. Yokohama International Center.

Ministerio del Medio Ambiente, Japón (2007b): Waste Disposal and Recycling Measures, http://www.env.go.jp/en/recycle/manage/waste.html.

Ministerio del Medio Ambiente, Japón (2010): Lessons from Minamata Disease and Mercury Management in Japan, http://www.env.go.jp/chemi/tmms/pr-m/mat01/en_full.pdf

Mottet, N.K., Shaw, C.M., Burbacher, T.M. (1985): Health Risks from Increases in Methylmercury Exposure, Environmental Health Perspectives, 63, 133 a 140, http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1568483.

NEWMOA (2004): Mercury-Added Product Fact Sheet, http://www.newmoa.org/prevention/mercury/imerc/FactSheets/factsheet_ranges.cfm.

NIMD (1999): Mission Report – Investigation into Suspected Mercury Contamination at Sihanoukville, Cambodia. NIMD. Minamata City, Japón, http://www.nimd.go.jp/english/kenkyu/nimd_forum/nimd_forum_1999.pdf#page=134

Nomura Kohsan Co. Ltd. (2007): Tratamiento de desechos que contienen mercurio en la planta Itomuka de Nomurakohsan Co., Ltd. Tokio, Japón.

OACI (2001): The Safe Transport of Dangerous Goods by Air, Annex 18 to the Convention on International Civil Aviation.

OIEA (2009): Geological Disposal of Radioactive Waste: Technological Implications for Retrievability: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1378_web.pdf.

OCDE (2001a): Responsabilidad ampliada del productor - Manual de orientación para los gobiernos.

OCDE (2001b): Sistema armonizado integrado de clasificación de peligros ambientales y para la salud humana de sustancias y mezclas químicas.

OCDE (2004): Recomendación del Consejo sobre la gestión ambientalmente racional de los desechos, http://webdomino1.oecd.org/horizontal/oecdacts.nsf/linkto/C(2004)100.

OCDE (2007): Guidance Manual on Environmentally Sound Management of Waste, http://www.oecd.org/dataoecd/23/31/39559085.pdf.

Oficina Regional de la OMS para Europa (2000): Air Quality Guidelines-Segunda edición, http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/123079/AQG2ndEd_6_9Mercury.PDF.

Ogaki, Y., Yamada, Y., Nomura, M. (2004): Tecnología de reciclado del Grupo JFE para una Sociedad orientada al reciclado [en japonés], JFE GIHO, 6, 37-43, http://www.jfe-steel.co.jp/research/giho/006/pdf/006-07.pdf.

Oikawa, K., Saito, H., Kifune, I., Ohshina, T., Fujii, M., Takizawa, Y. (1983): Respiratory Tract Retention of Inhaled Air Pollutants, Report 1: Mercury Absorption by Inhaling Through the Nose and Expiring Through the Mouth at Various Concentrations, Chemosphere, 11, 943 a 951.

OIT (2000): Mercurous Chloride, http://www.ilo.org/public/english/protection/safework/cis/products/icsc/dtasht/_icsc09/icsc0984.htm.

OIT (2001): Mercuric Oxide, International Occupational Safety and Health Information Centre, http://www.ilo.org/public/english/protection/safework/cis/products/icsc/dtasht/_icsc09/icsc0981.htm.

Oliveira, R.B., Gomes-Leal, W., do-Nascimento, J.L.M., Picanço-Diniz, C.W. (1998): Methylmercury Intoxication and Histochemical Demonstration of NADPH-Diaphorase Activity in the Striate Cortex of Adult Cats, Brazilian Journal of Medical and Biological Research, 31, 1157 a 1161.

OMI (2002): Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas, http://www.imo.org/Safety/mainframe.asp?topic_id=158.

OMS (1972): WHO Food Additives Series, No.4: Evaluation of Mercury, Lead, Cadmium and the Food Additives Amaranth, Diethylpyrocarbonate, and Octyl Gallate, http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v004je07.htm.

OMS (1990): Criterios de salud ambiental 101, Metilmercurio, http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc101.htm.

OMS (1991): Criterios de salud ambiental 118, Mercurio inorgánico, http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc118.htm.

OMS (2003): Elemental Mercury and Inorganic Mercury Compounds: Human Health Aspects, http://www.who.int/ipcs/publications/cicad/en/cicad50.pdf.

OMS (2006): Guías para la calidad del agua potable, tercera edición que incorpora las adiciones primera y segunda, http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/en/.

Ozonoff, D.M. (2006): Methylmercury, http://www.ijc.org/rel/pdf/health_effects_spring2006.pdf.

Panasonic (2009): Akari Ansin Service, http://panasonic-electric-works.net/csr/environment/communication/event2009/panel/a14.html.

Parker, J. L, Bloom, N.S. (2005): Preservation and storage techniques for low-level mercury speciation, Science of the Total Environment, 337, 253 a 263.

Proyecto MMSD (2002): Extracción de minerales artesanal y en pequeña escala, Documentos sobre minería y desarrollo sostenible de las Naciones Unidas y otras organizaciones.

PNUMA (1995): Modelo de legislación nacional sobre el manejo de desechos peligrosos y otros desechos así como sobre el control de movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y otros desechos y su eliminación, http://www.basel.int/pub/modlegis-s.pdf.

PNUMA (2002): Evaluación Mundial sobre el Mercurio, PNUMA, Ginebra, Suiza, http://www.chem.unep.ch/mercury/GMA%20in%20F%20and%20S/final-assessment-report-Nov05-Spanish.pdf

PNUMA (2005): Instrumental para la identificación y cuantificación de liberaciones de mercurio, http://www.chem.unep.ch/mercury/Toolkit/UNEP-final-pilot-draft-toolkit-SPANISH.pdf.

PNUMA (2006a): Enfoque estratégico para la gestión de los productos químicos a nivel internacional, http://www.saicm.org/documents/saicm%20texts/SAICM_publication_SPA.pdf

PNUMA (2006b): Guía para disminuir los principales usos y liberaciones de mercurio, http://www.chem.unep.ch/mercury/Sector%20Guide%202006.pdf.

PNUMA (2006c): Resumen del informe sobre la oferta, el comercio y la demanda de mercurio, Subdivisión de Productos Químicos del PNUMA, Ginebra (Suiza), http://www.chem.unep.ch/mercury/HgSupplyTradeDemandJM.pdf..

PNUMA (2008a): Evaluación mundial del mercurio en la atmósfera: fuentes, emisiones y transporte,

http://www.unep.org/hazardoussubstances/LinkClick.aspx?fileticket=Y0PHPmrXSuc%3d&tabid=3593&language=en-US.

PNUMA (2008b): Informe sobre los principales procesos y productos que contienen mercurio, sus productos sustitutivos y las experiencias en su sustitución por procesos y productos que no utilicen mercurio, http://www.chem.unep.ch/mercury/OEWG2/documents/g7)/Spanish/OEWG_2_7_s.doc..

PNUMA (2008c): Summary Report on UNEP Mercury Inventory Activities, http://www.chem.unep.ch/mercury/OEWG2/documents/y25_14)/English/OEWG_2_INF14.doc.

PNUMA (2008d): Material para Sensibilización, http://www.unep.org/hazardoussubstances/Mercury/MercuryPublications/ReportsPublications/AwarenessRaisingPackage/AwarenessRaisingPackageSpanishVersion/tabid/4535/language/en-US/Default.aspx.

PNUMA (2010a): Toolkit for Identification and Quantification of Mercury Releases, solo en inglés,

http://www.unep.org/hazardoussubstances/Mercury/MercuryPublications/GuidanceTrainingMaterialToolkits/MercuryToolkit/tabid/4566/language/en-US/Default.aspx.

PNUMA (2010b): Informe del Foro mundial sobre extracción aurífera artesanal y en pequeña escala, http://www.unep.org/hazardoussubstances/GlobalForumonASGM/tabid/6005/Default.aspx.

PNUMA (2010c): Estudio sobre las fuentes y emisiones de mercurio y análisis del costo y la eficacia de las medidas de control "Estudio del PNUMA pedido en el párrafo 29" (UNEP(DTIE)/Hg/INC.2/4), http://www.unep.org/hazardoussubstances/Mercury/Negotiations/INC2/INC2MeetingDocuments/tabid/3484/language/en-US/Default.aspx.

PNUMA (2011): Global Mercury Partnership Reports and Publications, http://www.unep.org/hazardoussubstances/Mercury/PrioritiesforAction/ArtisanalandSmallScaleGoldMining/Reports/tabid/4489/language/en-US/Default.aspx.

PNUMA y OMS (2008): Identifying Populations at Risk,

http://www.unep.org/hazardoussubstances/Mercury/MercuryPublications/GuidanceTrainingmaterialToolkits/GuidanceforIdentifyingPopulationsatRisk/tabid/3616/language/en-US/Default.aspx.

PNUMA y SETAC (2009): Life Cycle Management, http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTIx1208xPA-LifeCycleApproach-Howbusinessusesit.pdf.

Richardson, G.M., Allan, M. (1996): A Monte Carlo Assessment of Mercury Exposure and Risks from Dental Amalgam, Human and Ecological Risk Assessment, 2, 709 a 761.

Richardson, G.M. (2003): Inhalation of Mercury-Contaminated Particulate Matter by Dentists: An Overlooked Occupational Risk, Human and Ecological Risk Assessment, 9, 1519 a 1531.

Sakamoto, M., Kubota, M., Liu, X., Murata, K., Nakai, K., Satoh, H. (2004): Maternal and Fetal Mercury and n-3 Polyunsaturated Fatty Acid as a Risk and Benefit of Fish Consumption to Fetus, Environmental Science and Technology, 38, 3860 a 3863.

Sakamoto, M. Murata, K., Nakai, K., Satoh, H. (2005): Difference in Methylmercury Exposure to Fetus and Breast-Feeding Offspring, Revista Coreana de Salud Ambiental, 31, 179 a 186.

Sanborn, J.R., Brodberg, R.K. (2006): Evaluation of Bioaccumulation Factors and Translators for Methylmercury, http://www.oehha.ca.gov/fish/special_reports/pdf/BAF020907.pdf.

SCB (1992): Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación, http://www.basel.int/text/17Jun2010-conv-e.doc.

SCB (1994): Documento de orientación para la preparación de directrices técnicas para el manejo ambientalmente racional de desechos objeto del Convenio de Basilea, http://www.basel.int/meetings/sbc/workdoc/framewk.doc.

SCB (1995a): Manual para la aplicación del Convenio de Basilea, http://www.basel.int/meetings/sbc/workdoc/manual.doc.

SCB (1995b): Basel Convention Technical Guidelines on Specially Engineered Landfill (D5), http://www.basel.int/meetings/sbc/workdoc/old%20docs/tech-d5.pdf.

SCB (1998): Guide to the Control System, http://www.basel.int/pub/instruct.doc.

SCB (1999): Informe de la quinta Reunión de la Conferencia de las Partes en el Convenio de Basilea, http://www.basel.int/meetings/cop/cop5/cop5reportfinal.pdf.

SCB (2000): Guía metodológica para realizar inventarios nacionales de desechos peligrosos en el marco del Convenio de Basilea, http://www.basel.int/meetings/sbc/workdoc/techdocs.html.

SCB (2006): Directrices técnicas generales actualizadas para el manejo ambientalmente racional de desechos consistentes en contaminantes orgánicos persistentes, desechos que los contienen o están contaminados por ellos, http://www.basel.int/pub/techguid/tg-POPs.doc.

Spiegel, S., Veiga, M. (2006): Interventions to Reduce Mercury Pollution in Artisanal Gold Mining Sites - lessons from the UNDP/GEF/UNIDO Global Mercury Project, NIMD Forum 2006 II, Minamata City, Ministerio del Medio Ambiente, Japón, 1 a 18, http://www.nimd.go.jp/english/kenkyu/nimd_forum/nimd_forum_2006_II.pdf#page=8.

Steffen, A., Douglas, T., Amyot, M., Ariya, P., Aspo, K., Berg, T., Bottenheim, J., Brooks, S., Cobbett, F., Dastoor, A., Dommergue., A., Ebinghaus, R., Ferrari, D., Gardfeldt, K., Goodsite, M E., Lean, D., Poulain, A., Scherz, C., Skov, H., Sommar, J., Temme, C. (2007): A Synthesis of Atmospheric Mercury Depletion Event Chemistry Linking Atmosphere, Snow and Water, Atmospheric Chemistry and Physics Discussions, 7, 10837 a 10931.

Tajima, S. (1970): Estudios sobre la formación de compuestos de metilmercurio. 1. Preparación de acetaldehído monomercuriado $XHgCH_2CHO$ y formación de compuestos de metilmercurio a partir del acetaldehído monomercuriado [en japonés], Kumamoto Igakkai Zasshi, 44, 873 a 886.

Takahashi, Nakamura, Mizoiri, Shoji. (2004): Comportamiento del mercurio en el vertedero de Chuo Bohatei Sotogawa [en japonés], Informe anual del Instituto Metropolitano de Investigaciones de Tokio para la Protección Ambiental 2004, 165 a 171.

Tanel, B., Reyes-Osorno, B., Tansel, I.N. (1998): Comparative Analysis of Fluorescent Lamp Recycling and Disposal Options, Journal of Solid Waste Technology and Management, 25, 82 a 88.

The Office of Technology Assessment (1983): Case Examples of Process Modification - Appendix 5A. In: Technologies and Management Strategies for Hazardous Waste Control. The Office of Technology Assessment. Darby, USA, Diane Publishing. 213 a 217.

The School of Natural Resources and Environment, University of Michigan (2000): Environmental Justice Case Study - Thor Chemicals and Mercury Exposure in Cato-Ridge, Kwazulu-Natal, Sudáfrica, http://www.umich.edu/~snre492/Jones/thorchem.htm.

The Zero Mercury Working Group, Mercury Policy Project, Global Alliance for Incinerator Alternatives, Ban Toxics! (2009): Mercury Rising: Reducing Global Emissions from Burning Mercury-Added Products, http://www.zeromercury.org/International_developments/FINAL_MercuryRising_Feb2009.pdf.

Wood, J.M. (1974): Biological Cycles for Toxic Elements in the Environment, Science, 15, 1043 a 1048.

Yanase R., Hirato, O., Matsufuji, Y. (2009): Behaviour of Mercury from Used Batteries in Landfills over 20 Years, Journal of the Japan Society of Material Cycles and Waste Management, 20 (1), 12 a 23.